



**SKRIPSI – TK141581**

**PERANCANGAN PROSES PEMISAHAN FRAKSI BERAT  
DALAM MINYAK PELUMAS BEKAS DENGAN *VACUUM  
DISTILLATION* DAN *THIN FILM EVAPORATOR***

**Oleh:**

**NANDYOJATI KUSUMA**

**NRP. 2313 100 143**

**ANDI MUHAMMAD DANIAL**

**NRP. 2313 100 145**

**Dosen Pembimbing**

**Prof. Ir. Renanto, M.S., Ph.D.**

**NIP. 1953 07 19 1978 03 1001**

**Juwari, ST., M.Eng., Ph.D.**

**NIP. 1973 06 15 1999 03 1003**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2017**



**FINAL PROJECT – TK141581**

**HEAVY FRACTION SEPARATION PROCESS DESIGN  
FROM USED LUBE OIL USING VACUUM DISTILLATION  
AND THIN FILM EVAPORATOR**

**Written by:**

**NANDYOJATI KUSUMA**

**NRP. 2313 100 143**

**ANDI MUHAMMAD DANIAL**

**NRP. 2313 100 145**

**Advisor:**

**Prof. Ir. Renanto, M.S., Ph.D.**

**NIP. 1953 07 19 1978 03 1001**

**Juwari, ST., M.Eng., Ph.D.**

**NIP. 1973 06 15 1999 03 1003**

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**

# **PERANCANGAN PROSES PEMISAHAN FRAKSI BERAT DALAM MINYAK PELUMAS BEKAS DENGAN *VACUUM DISTILLATION* DAN *THIN FILM EVAPORATOR***

Nama/NRP : 1. Nandyojati Kusuma NRP. 2313 100 143  
2. Andi Muhammad Danial NRP. 2313 100 145  
Departemen : Teknik Kimia FTI-ITS  
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Renanto, M.S., Ph.D.  
2. Juwari, S.T., M.Eng, Ph.D.

## **ABSTRAK**

Pembuangan minyak pelumas bekas ke lingkungan tanpa diproses terlebih dahulu dapat menyebabkan kerusakan lingkungan yang fatal dikarenakan minyak pelumas bekas diklasifikasikan sebagai limbah B3. Pengolahan minyak pelumas bekas meliputi beberapa proses, salah satunya adalah penghilangan kandungan fraksi berat dalam minyak pelumas bekas. Kolom distilasi vakum dengan *Thin-film evaporator* sebagai *reboiler* adalah metode yang sesuai dikarenakan dapat memisahkan zat yang memiliki titik didih cukup tinggi seperti fraksi berat pada minyak pelumas bekas. Dimana pemahaman tentang mekanisme perpindahan panas pada *Thin-film evaporator* masih sedikit. Untuk mengatasi permasalahan diatas maka perlu dilakukan perancangan unit vakum distilasi disertai *thin-film evaporator* menggunakan software Aspen Plus<sup>TM</sup> dan Matlab<sup>TM</sup>. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek dari putaran rotor terhadap koefisien perpindahan panas hingga dapat merancang kondisi optimal pada proses distilasi vakum dan *thin film evaporator* guna memisahkan fraksi berat pada minyak pelumas bekas dengan menggunakan software Aspen Plus<sup>TM</sup> dan Matlab<sup>TM</sup>. Diawali dengan membuat permodelan thin film evaporator pada AspenPlus<sup>TM</sup> dan Matlab<sup>TM</sup>, yang kemudian dilakukan perhitungan koefisien perpindahan panas *thin film evaporator* pada berbagai putaran rotor. Koefisien perpindahan panas yang didapatkan diinput ke dalam permodelan *thin film evaporator* pada Aspen Plus<sup>TM</sup>, yang kemudian

didapatkan kondisi optimum pada distilasi vakum. Dari penelitian ini didapatkan model distilasi vakum dan juga *thin film evaporator* untuk proses pemisahan fraksi berat dalam minyak pelumas bekas. Kondisi operasi optimum terjadi pada suhu 360°C dan putaran rotor 400 RPM dimana didapatkan persentase minyak pelumas yang didapat sebesar 92,2615% dengan massa produk atas sebesar 143,9872 kg/h dan *error* sebesar 0,468%.

Kata kunci : AspenPlus, Distilasi Vakum, Matlab, Minyak Pelumas, *Thin-Film Evaporator*

# **HEAVY FRACTION SEPARATION PROCESS DESIGN FROM USED LUBE OIL USING VACUUM DISTILLATION AND THIN FILM EVAPORATOR**

Name : 1. Nandyojati Kusuma NRP. 2313 100 143  
2. Andi Muhammad Danial NRP. 2313 100 145  
Department : Chemical Engineering FTI-ITS  
Lecturer : 1. Prof. Ir. Renanto, M.S., Ph.D.  
2. Juwari, S.T., M.Eng, Ph.D.

## **ABSTRACT**

Disposal of used lubricants into the environment without being processed can cause fatal environmental damage because used lubricating oils are classified as hazardous and toxic waste. The processing of used lubricating oil includes several processes, one of which is the removal of heavy fraction content in used lubricating oil. Vacuum distillation column with Thin-film evaporator as reboiler is the appropriate method can separate due to substances that have a high enough boiling point as the heavy fraction of the used lubricating oil. Where there is little concern about the mechanism of heat transfer in Thin-film evaporator. To overcome the above problems it is necessary to design a distillation vacuum unit with thin-film evaporator using Aspen Plus<sup>TM</sup> and Matlab<sup>TM</sup> software. This study aims to determine the effect of rotation of the agitator of the heat transfer coefficient to be able to design optimal conditions in a vacuum distillation process and thin film evaporator to separate the heavy fraction in the used lubricating oil by using the software Aspen Plus<sup>TM</sup> and Matlab<sup>TM</sup>. Modeling begins with creating a thin film evaporator at AspenPlus<sup>TM</sup> and Matlab<sup>TM</sup>, which then calculate the heat transfer coefficient of thin film evaporator at the various rounds of the agitator. The heat transfer coefficient obtained was inputted into the thin film evaporator model on Aspen Plus<sup>TM</sup>, which then obtained the optimum conditions on vacuum distillation. From this research we get the vacuum distillation and thin film evaporator

model for the separation process of heavy fraction in used lubricating oil. The optimum operating condition was at the temperature of 360°C and 400 RPM for agitator rotational speed when 92,2615% of lube oil fraction from feed stream was going to the product and 143,9872 kg/h of product flowrate was obtained. The result of validation of thin film evaporation simulation has an error of 0,468%.

**Keywords :** Aspen Plus, Lube Oil, Matlab, Thin-Film Evaporator, Vacuum Distillation

## LEMBAR PENGESAHAN

### PERANCANGAN PROSES PEMISAHAN FRAKSI BERAT DALAM MINYAK PELUMAS BEKAS DENGAN VACUUM DISTILLATION DAN THIN FILM EVAPORATION

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kimia  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Nandyojati Kusuma**

**NRP. 2313 100 143**

**Andi Muhammad Danial**

**NRP. 2313 100 145**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Ir. Renanto, M.S., Ph.D ..... (Pembimbing 1)

2. Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D ..... (Pembimbing 2)

3. Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.S ..... (Penguji I)

4. Fadlilatul Taufany, S.T., Ph.D ..... (Penguji II)

5. Dr. Ir. Susianto, DEA ..... (Penguji III)



## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT atas limpahan berkat dan rahmat-Nya kepada penyusun sehingga penyusun mampu menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul **“PERANCANGAN PROSES PEMISAHAN FRAKSI BERAT DALAM MINYAK PELUMAS BEKAS DENGAN *VACUUM DISTILLATION* DAN *THIN FILM EVAPORATOR*”** serta mampu menyelesaikan laporan ini sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Dalam penyusunan laporan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung dari beberapa pihak, Oleh karena itu, kami mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas rahmat karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini.
2. Orang tua kami yang telah memberikan banyak doa, motivasi, dan dukungan selama pengerjaan laporan skripsi.
3. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya yang juga merupakan Dosen Pembimbing II atas bimbingan yang diberikan
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Renanto Handogo, MS., Ph.D, selaku Kepala Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses sekaligus Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan dan saran yang diberikan.



5. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Kimia FTI – ITS yang telah memberikan ilmunya kepada kami, serta seluruh karyawan Departemen Teknik Kimia yang turut membantu pengerjaan skripsi kami.
6. Semua teman-teman seperjuangan Perdalpro *Crew*
7. Teman-teman K-53 yang telah menemani selama suka duka pembuatan tugas akhir ini.

Penyusun menyadari bahwa laporan ini masih berada jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat konstruktif dari semua pihak bagi kesempurnaan laporan ini.

Surabaya, 8 Juli 2017

Penyusun

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERSETUJUAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL .....	xii
BAB I	PENDAHULUAN.....I-1
	I.1 Latar Belakang .....I-1
	I.2 Rumusan Masalah.....I-2
	I.3 Tujuan Penelitian .....I-2
	I.4 Batasan Masalah .....I-3
	I.5 Manfaat Penelitian .....I-3
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA.....II-1
	II.1 Minyak Pelumas ( <i>Lubrication Oil</i> ).....II-1
	II.2 Minyak Pelumas Bekas ( <i>Used Lube Oil</i> ).....II-5
	II.3 Distilasi .....II-9
	II.4 Desain Kolom Distilasi.....II-10
	II.5 Macam-Macam Evaporator .....II-11
	II.6 <i>Thin Film Evaporator</i> .....II-12
	II.7 Pemilihan Aplikasi Termodinamika Untuk Permodelan Proses .....II-19
	II.8 Penelitian Terkait.....II-21
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN .....III-1
	III.1 <i>Flowchart</i> Penelitian .....III-1
	III.2 Studi Literatur dan Pengumpulan Data ..III-2
	III.3 Pemilihan Model Termodinamika .....III-3
	III.4 Membuat Permodelan <i>Thin Film</i> <i>Evaporator</i> Menggunakan Aspen Plus...III-3
	III.5 Membuat <i>Shortcut Distillation</i> .....III-5

	III.6 Membuat Pemodelan Kolom Distilasi Vakum Yang Digabungkan dengan <i>Thin Film Evaporator</i> Sebagai <i>Reboiler</i> .....	III-6
	III.7 Membuat Model Distilasi Biasa Tanpa Menggunakan <i>Thin</i> <i>Film Evaporator</i> .....	III-8
	III.8 Pemilihan Variabel Manipulasi Proses...	III-9
	III.9 Variabel Yang Ditetapkan .....	III-9
	III.10 Menganalisa Hasil Proses.....	III-10
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	IV-1
	IV.1 Simulasi Proses .....	IV-1
	IV.2 Analisa Hasil .....	IV-5
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN .....	V-1
	V.1 Kesimpulan.....	V-1
	V.2 Saran .....	V-2
	DAFTAR PUSTAKA.....	xiii
	DAFTAR NOTASI .....	xv
	APPENDIKS A	
	APPENDIKS B	

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Kategori Minyak Pelumas Dasar oleh <i>American Petroleum Industri</i> .....	II-2
Tabel II.2	Kandungan Senyawa Aditif dalam Minyak Pelumas Bekas .....	II-6
Tabel II.3	Sifat Fisis Minyak Pelumas Bekas .....	II-10
Tabel II.4	Kriteria Pemilihan Evaporator .....	II-20
Tabel II.5	Model Termodinamika.....	IV-4
Tabel IV.1	Komposisi Aliran Masuk Sistem.....	IV-10
Tabel IV.2	Perbandingan Hasil Simulasi AspenPlus <sup>TM</sup> dengan Perhitungan Matlab <sup>TM</sup> .....	IV-10

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Struktur Kimia Minyak Pelumas Bekas.....	II-6
Gambar II.2	<i>Vertical Thin-Film Evaporator</i> .....	II-13
Gambar II.3	Skema dari <i>Thin Film Evaporator</i> .....	II-15
Gambar II.4	Tahap Proses Polimerisasi .....	II-17
Gambar II.5	Hambatan Perpindahan Panas pada Thin Film Evaporator.....	II-18
Gambar II.6	<i>Flowsheet</i> Simulasi dengan Aspen Plus™ .....	II-21
Gambar III.1	Diagram Alir Penelitian .....	III-2
Gambar III.2	<i>Display Model Palette</i> pada Aspen Plus™ .....	III-5
Gambar III.3	<i>Display</i> Contoh Pengisian Spesifikasi DSTWU .....	III-5
Gambar III.4	Model DSTWU .....	III-6
Gambar III.5	Contoh Spesifikasi Yang Harus Diisi Pada Kolom Distilasi .....	III-7
Gambar III.6	Model Kolom Distilasi Vakum Dengan <i>Thin Film Evaporator</i> .....	III-8
Gambar IV.1	<i>Flow Diagram</i> Model Kolom Distilasi Menggunakan <i>Thin Film Evaporator</i> Sebagai <i>Reboiler</i> .....	IV-2
Gambar IV.2	<i>Flow Diagram</i> Model <i>Thin Film Evaporator</i> yang dimodelkan oleh kombinasi <i>heat Exchanger</i> Dengan <i>Flash Drum</i> .....	IV-2
Gambar IV.3	<i>Flow Diagram</i> Model Kolom Distilasi Menggunakan <i>Reboiler</i> Biasa.....	IV-3
Gambar IV.4	Perbandingan Antara Koefisien Perpindahan Panas Dengan Kecepatan Putaran Rotor.....	IV-6
Gambar IV.5	Grafik Variasi Putaran Rotor Pada Suhu 330°C, Tekanan 1 kPa dan $R/R_{min}$ 1,3....	IV-7
Gambar IV.6	Grafik Variasi Putaran Rotor Pada Suhu 340°C, Tekanan 1 kPa dan $R/R_{min}$ 1,3....	IV-9
Gambar IV.7	Grafik Variasi Putaran Rotor Pada	

	Suhu 350°C, Tekanan 1 kPa dan $R/R_{\min}$ 1,3....	IV-9
Gambar IV.8	Grafik Variasi Putaran Rotor Pada Suhu 360°C, Tekanan 1 kPa dan $R/R_{\min}$ 1,3....	IV-9
Gambar IV.9	Grafik Variasi Suhu Operasi Pada Putaran Rotor 10 RPM, Tekanan 1 kPa dan $R/R_{\min}$ 1,3.....	IV-11
Gambar IV.10	Grafik Variasi Suhu Operasi Pada Putaran Rotor 10 RPM, Tekanan 1 kPa dan $R/R_{\min}$ 1,3.....	IV-12
Gambar IV.11	Grafik Variasi Suhu Operasi Pada Putaran Rotor 10 RPM, Tekanan 1 kPa dan $R/R_{\min}$ 1,3.....	IV-12
Gambar IV.12	Grafik Variasi Suhu Operasi Pada Putaran Rotor 10 RPM, Tekanan 1 kPa dan $R/R_{\min}$ 1,3.....	IV-13
Gambar IV.13	Grafik Variasi Suhu Operasi Pada Putaran Rotor 10 RPM, Tekanan 1 kPa dan $R/R_{\min}$ 1,3.....	IV-13
Gambar IV.14	Grafik Variasi Suhu Operasi Pada Putaran Rotor 10 RPM, Tekanan 1 kPa dan $R/R_{\min}$ 1,3.....	III-14
Gambar IV.15	Grafik Variasi Suhu Operasi Pada Putaran Rotor 10 RPM, Tekanan 1 kPa dan $R/R_{\min}$ 1,3.....	IV-14
Gambar IV.16	Grafik Variasi Suhu Operasi Pada Putaran Rotor 10 RPM, Tekanan 1 kPa dan $R/R_{\min}$ 1,3.....	III-15
Gambar IV.17	Grafik Variasi Suhu Operasi Pada Putaran Rotor 10 RPM, Tekanan 1 kPa dan $R/R_{\min}$ 1,3.....	III-15
Gambar IV.18	Grafik Variasi Suhu Operasi Pada Putaran Rotor 10 RPM, Tekanan 1 kPa dan $R/R_{\min}$ 1,3.....	III-16
Gambar IV.19	Grafik Variasi Suhu Operasi Pada Putaran Rotor 10 RPM, Tekanan 1 kPa	

dan $R/R_{\min}$ 1,3.....	III-16
---------------------------	--------

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang.**

Minyak pelumas bekas termasuk dalam kategori limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) yang apabila langsung dibuang ke lingkungan tanpa diproses terlebih dahulu dapat menimbulkan masalah lingkungan yang serius. Hal ini dikarenakan minyak pelumas bekas mengandung kotoran logam-logam dengan kadar yang tinggi, bahan aditif, sisa bahan bakar dan kotoran lain. Minyak pelumas bekas meliputi minyak mesin otomotif, minyak mesin, dan minyak pelumas. Komposisi minyak pelumas bekas berubah seiring dengan penggunaanya karena beberapa kontaminan seperti sulfur, senyawa teroksidasi, hidrokarbon, dan logam (kromium atau timbal).

Minyak pelumas bekas dapat diolah untuk memproduksi bahan bakar atau minyak pelumas. Minyak pelumas bekas didaur ulang melalui proses *re-refining* untuk mengolah *material* yang berguna. Proses daur ulang ini dilakukan setelah penghilangan kotoran yang tidak dapat larut. Pengolahan minyak bekas meliputi beberapa proses, salah satunya adalah penghilangan kandungan fraksi berat minyak pelumas bekas sehingga menjadi *lube oil* yang sudah bebas dari residu fraksi berat. Kolom distilasi vakum yang dikombinasikan dengan *thin film evaporator* sebagai *reboiler* adalah salah satu alat yang sesuai dikarenakan dapat memisahkan senyawa dalam suatu zat lebih baik dibandingkan *reboiler* biasa. Untuk mendistilasi minyak pelumas bekas, *thin film evaporator* menyebarkan lapisan tipis dari minyak kemudian pada bagian atas lapisan dipanaskan dan mendistilasi fraksi minyak ringan sementara fraksi minyak berat jatuh pada bagian bawah tangki. *Thin-Film Evaporator* menawarkan keuntungan ganda dari waktu tinggal yang singkat dan perbedaan suhu rendah yang membantu menjamin kualitas produk yang tinggi ketika produk sensitif terhadap panas seperti minyak pelumas. Namun masih belum ada model perancangan mengenai pemisahan fraksi berat dengan



menggunakan distilasi vakum yang dikombinasikan dengan *thin film evaporator* tersebut.

Dari pemaparan diatas, untuk mengatasi permasalahan diatas maka perlu dilakukan perancangan unit kolom distikasi vakum dan *thin film evaporator* menggunakan *software* Aspen Plus<sup>TM</sup> dan Matlab<sup>TM</sup> serta perlunya mengetahui kondisi operasi optimum yang dibutuhkan untuk menjalankan proses ini.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang timbul dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh putaran rotor terhadap nilai koefisien perpindahan panas pada *thin film evaporator*..
2. Bagaimana merancang dengan mensimulasikan distilasi vakum dan *thin film evaporator* guna memisahkan *lube oil* dari fraksi berat minyak pelumas bekas dengan menggunakan Aspen Plus<sup>TM</sup> dan Matlab<sup>TM</sup>.
3. Bagaimana kondisi operasi optimum distilasi vakum dan *thin film evaporator* guna memisahkan *lube oil* dari fraksi berat minyak pelumas bekas.

## **I.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui efek dari perputaran rotor terhadap koefisien perpindahan panas pada *thin film evaporator*.
2. Mendapatkan model perancangan distilasi vakum dan *thin film evaporator* guna memisahkan *lube oil* dari fraksi berat minyak pelumas bekas dengan menggunakan Aspen Plus<sup>TM</sup> dan Matlab<sup>TM</sup>.
3. Mengetahui kondisi operasi optimum distilasi vakum dan *thin film evaporator* guna memisahkan *lube oil* dari fraksi berat minyak pelumas bekas.

#### **I.4 Batasan Masalah**

Agar tidak terjadi perluasan dalam penelitian ini maka perlu adanya pembatasan masalah, yang dalam hal ini terbatas meliputi:

1. *Software* yang digunakan untuk merancang dan mensimulasikan proses adalah Aspen Plus™ dan Matlab™.

#### **I.5 Manfaat Penelitian**

Beberapa manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Memahami efek dari perputaran rotor terhadap koefisien perpindahan panas pada *thin film evaporator*.
2. Mengetahui efektifitas distilasi vakum dan *thin film evaporator* dalam proses separasi *lube oil* dari fraksi berat minyak pelumas bekas.
3. Mendapatkan kondisi operasi optimum pada proses pengolahan minyak pelumas bekas secara khusus pada distilasi vakum dan *thin-film evaporator*.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Minyak Pelumas (*Lubricating Oil*)**

Minyak pelumas adalah salah satu produk dari minyak bumi. Pemilihan kekentalan minyak pelumas yang kurang tepat dapat mempengaruhi kinerja mesin. Minyak pelumas yang terlalu encer tidak akan berfungsi dengan baik dan bila terlalu kental akan menghambat kerja mesin karena tahanan yang tinggi (Siswanti, 2010).

Adapun fungsi minyak pelumas meliputi: mengurangi gesekan, mengurangi keausan, mendinginkan komponen mesin, membantu merapatkan kompresi serta membersihkan komponen mesin. Minyak pelumas yang digunakan untuk melumasi mesin mempunyai persyaratan antara lain: tahan suhu tinggi, tahan karat dan korosi, mampu mencegah terbentuknya endapan, mampu mencegah kemacetan cincin piston, mampu mencegah terjadinya busa serta mampu mengalir pada suhu rendah (Subiyanto, 1989).

Properti minyak pelumas dasar sebagai berikut:

*Aniline Point*, adalah ukuran dari kemampuan *base stock* untuk bertindak sebagai pelarut dan ditentukan dari suhu yang mana sesuai dengan volume *aniline* dan *base stock* yang larut (ASTM D611). *Aniline Point* tinggi berarti *base stock* yang mengandung banyak parafin, sedangkan *aniline point* rendah ( $<100^{\circ}\text{C}$ ) berarti *naphthenic or aromatic stock*. (Speight, 2014)

*Cloud Point*, adalah suhu di mana kristal lilin bentuk pertama sebagai awan mikrokristal. Oleh karena itu lebih tinggi dari *pour point*, di mana kristal begitu banyak yang alirannya dicegah. Metode ASTM lama adalah D2500, dengan tiga metode otomatis baru menjadi ASTM D5771, ASTM D5772, D5773 dan ASTM. Banyak lembar inspeksi *base stock* tidak lagi memberikan *cloud point*. *Cloud point* bisa di  $3^{\circ}\text{C}$  hingga  $15^{\circ}\text{C}$  di atas *pour point* yang sesuai. (Speight, 2014)

*Color*, ekstrak-pelarut/*solvent dewaxed stock* akan mempertahankan beberapa warna yang diukur dengan ASTM

D1500. *Hydrocracked stock*, ketika *hydrofinished* pada tekanan tinggi, biasanya air putih dan warna terbaik mereka diukur pada skala warna Saybolt (ASTM D156, ASTM 2012). (Speight, 2014)

Densitas dan Gravitasi API, pengetahuan tentang densitas sangat penting ketika menangani kualitas *stock* dan nilai-nilai juga dapat dilihat sesuai dengan jenis *base stock*. Langkah alternatif adalah Skala gravitasi API dimana:

$$\text{API gravity} = (141.5/\text{specific gravity}) - 131.5$$

Densitas akan meningkat seiring dengan viskositas, *boiling range*, dan kandungan aromatis. Namun akan berkurang dengan naiknya konsentrasi isoparafin dan viskositas index. (Speight, 2014)

Distilasi, saat ini distilasi fisis dapat dianalisa dengan ASTM D86, metode ini diukur pada tekanan atmosfer dan sesuai untuk *light lube*, atau dengan distilasi vakum menggunakan ASTM D1160 untuk *heavy lube*. Analisa distilasi biasanya menggunakan gas kromatografi dan sering dikenal dengan *Simulate Distillation* (SimDist) atau gas kromatografi menggunakan ASTM D2887. Metode ini menghasilkan hasil yang akurat. Metode ini dapat diterapkan untuk bahan yang memiliki *boiling point* kurang dari 538°C. (Speight, 2014)

Titik nyala, suhu di mana ada uap yang cukup diatas sampel cairan untuk tersulut bila terkena api dalam keadaan terbuka dan merupakan acuan pada produk yang digunakan sebagai spesifikasi keselamatan umum. Titik nyala adalah refleksi dari titik didih suatu bahan di ujung depan kurva distilasi *base stock*. Titik nyala umumnya meningkat dengan tingkatan viskositas dan titik nyala yang tinggi untuk viskositas yang diinginkan. Metode pengujian Cleveland Open Cup (ASTM D92) adalah yang paling sering digunakan untuk *base stock* di Amerika Utara, meskipun tes Pensky-Martens (ASTM D93) terkadang digunakan. (Speight, 2014)

*Pour point*, mengukur temperature yang paling tinggi hingga *base stock* tidak mengalir, dan untuk *paraffinic base stock*, *pour point* biasanya diantara -12°C dan -15°C, dan ditentukan oleh

pengoperasian unit *dewaxing*. Untuk tujuan tertentu, *pour point* dapat sangat rendah. Untuk *base stock* yang memiliki viskositas yang sangat rendah seperti *bright stock*, *pour point* merefleksikan batas viskositas. Pengukuran *pour point* secara tradisional menggunakan ASTM D97, namun terdapat tiga metode baru, yakni metode “tilt” (ASTM D5950), *pulse method* (ASTM D5949), dan metode rotasi (ASTM D5985). (Speight, 2014)

Viskositas, *base stock* biasanya dijual berdasarkan viskositasnya kinemariknya pada 40 °C dan 100 °C. Tingkatan viskositas didefinisikan oleh viskositas kinematic dalam *centistokes* (cS) saat 40 °C. viskositas *base stock* yang lebih tinggi dihasilkan oleh bahan baku yang lebih berat. (contoh: 100 cS saat 40 °C minyak pelumas diproduksi dari *heavy vacuum gas oil* dan tidak dapat dihasilkan dari *light vacuum gas oil* karena *molecular precursor* tidak tersedia). Semakin meningkatnya viskositas, diikuti juga dengan meningkatnya *distillation midpoint*. (Speight, 2014)

Indeks Viskositas, berbeda jenis minyak pelumas memiliki perbedaan pula dalam laju perubahan viskositas terhadap suhu. Contohnya, distilat minyak pelumas dari *naphthenic base crude* akan menunjukkan laju perubahan viskositas terhadap temperature yang lebih tinggi dari pada distilat yang berasal dari *paraffin crude*. Indeks viskositas adalah suatu metode untuk mengukur suatu nilai numerik terhadap laju perubahan, berdasarkan perbandingan dengan *relative rates of change of two arbitrarily selected types* dari minyak pelumas. Indeks viskositas yang tinggi menunjukkan laju perubahan viskositas terhadap temperature yang rendah, begitu pula sebaliknya. (Speight, 2014)

Indeks viskositas adalah ukuran sejauh mana perubahan viskositas dengan suhu; semakin tinggi indeks viskositas, semakin sedikit perubahan, dan umumnya indeks viskositas lebih tinggi lebih disukai. Indeks viskositas minimal untuk *paraffinic base stock* adalah 80, namun dalam kenyataannya adalah 95 karena disesuaikan keinginan pasar. Untuk mendapatkan indeks viskositas

lebih besar dari 140, bahan baku umumnya harus berupa *petroleum wax or Fischer–Tropsch wax*. (Speight, 2014)

Volatilitas, telah muncul sebagai faktor yang signifikan dalam produk pelumas otomotif dari sudut pandang lingkungan dan operasional dan berkaitan terutama dengan distilasi *front end*. Volatilitas rendah (kehilangan minimal ketika suhu tinggi) mengurangi emisi, bermanfaat untuk katalis pengontrol emisi, mengurangi konsumsi minyak pelumas, dan membantu mencegah perubahan viskositas minyak pelumas dalam mesin. Viskositas dipengaruhi oleh tingkatan viskositas, tetapi untuk viskositas yang konstan dipertahankan oleh fraksinasi dan sebagian oleh indeks viskositas. Indeks viskositas diidentifikasi menggunakan metode Noack (ASTM D5800), menggunakan metode *thermogravimetric analyzer* (TGA) biasanya disebut ASTM D6375, atau dengan gas kromatografi (ASTM D6417) untuk minyak pelumas mesin. (Speight, 2014)

**Tabel II.1** Kategori Minyak Pelumas Dasar oleh *American Petroleum Industry*

	<b>Kategori Minyak Pelumas Dasar</b>	<b>Sulfur (%)</b>		<b>Kejenuhan (%)</b>	<b>Indeks Viskositas</b>
Mineral	Grup I ( <i>Solvent Refined</i> )	>0,03	And/or	<90	80-120
	Grup II ( <i>hydrotreated</i> )	<0,03	And	>90	80-120
	Grup III ( <i>hydrocracked</i> )	<0,03	And	>90	>120
Sintetik	Grup IV	Minyak Pelumas Sintetik PAO			
	Grup V	Semua jenis minyak pelumas dasar selain grup I, II, III, dan IV			

(Speight, 2014)

## II.2 Minyak Pelumas Bekas (*Used Lube Oil*)

Minyak pelumas bekas biasanya terdiri dari campuran berbagai jenis minyak pelumas yang telah digunakan dalam kendaraan bermotor dan industri. (Studi Tecnologie Progetti Srl, 2000).

Dalam hal produk yang berasal dari kerusakan minyak, banyak produk yang terbentuk selama minyak mengalami kerusakan. Beberapa produk yang penting adalah *sludge* yakni campuran minyak, air, partikel debu, kotoran, dan karbon yang dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar. Lumpur dapat disimpan di berbagai bagian mesin atau tetap di koloid dispersi dalam minyak. *Lacquer*, zat keras atau bergetah yang akan terendapkan pada bagian-bagian mesin sebagai akibat dari adanya lumpur pada oli sehingga suhu operasi terlalu suhu tinggi. *Oil soluble products*, hasil produk oksidasi minyak yang tetap dalam minyak dan tidak dapat disaring sehingga terendapkan pada bagian-bagian mesin. (Speight, 2014)

Minyak pelumas kehilangan efektivitasnya selama operasi karena adanya jenis kontaminan tertentu. Kontaminan ini dibagi menjadi dua, pertama adalah kontaminan asing dan kedua adalah produk dari kerusakan minyak pelumas. Kontaminan asing berasal dari udara dan partikel logam dari mesin. Kontaminan dari udara adalah pasir, kotoran, dan kelembapan udara. Udara sendiri dapat dianggap sebagai kontaminan karena dapat menyebabkan oli atau minyak pelumas menjadi berbusa (*foaming*). Kontaminan yang berasal dari mesin adalah partikel logam akibat penggunaan mesin, partikel karbon yang berasal dari pembakaran tidak sempurna, oksida logam yang berasal dari korosi pada logam, air dari kebocoran sistem pendingin, air dari produk pembakaran, bahan bakar atau bahan aditif atau *by product* yang mungkin masuk kedalam *crankcase* mesin. (Speight, 2014)

Minyak pelumas bekas memiliki nilai hydrocarbon pada C<sub>21</sub>-C<sub>40</sub>. Gas-gas volatil yang terkandung dalam minyak pelumas bekas adalah H<sub>2</sub>, CO, dan CO<sub>2</sub>



**Gambar II.1** Struktur Kimia Minyak Pelumas Bekas  
(Lam, 2015)

Pada minyak pelumas bekas terdapat logam-logam yang dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan. Logam-logam tersebut dapat berasal dari :

- Aditif minyak pelumas  
Agar minyak pelumas dapat memberikan pelayanan yang memuaskan maka perlu ditambahkan zat aditif, tetapi zat aditif tersebut mengandung logam Zn, Al serta senyawa lain seperti Ba, Mg, Mo, K, Ca dan Na.
- Bahan Bakar  
Bahan bakar yang digunakan dapat mengandung Pb, apabila ditambahkan TEL untuk menaikkan angka oktannya, hasil pembakarannya dapat masuk ke ruang karter dan bercampur dengan minyak pelumas.
- Debu dan kotoran dari udara  
Bahan bakar dapat dibakar bila ada udara. Udara yang masuk ke ruang bakar sudah disaring dengan filter, tetapi kemungkinan kotoran masih dapat masuk ke ruang bakar bersama udara. Biasanya didalam debu mengandung Al dan Si.
- Zat pendingin "coolant"  
Zat pendingin yang dicampurkan dalam air pendingin mengandung aditif anti korosif yang umumnya mengandung Na, K dan Cr. Apabila gasket mesin rusak, air pendingin dapat masuk ke ruang bakar lalu ke karter dan bercampur dengan minyak pelumas.



- Keausan

Keausan adalah hilangnya zat padat dari induknya akibat adanya permukaan yang bergesekan, sehingga dapat menyebabkan kerusakan. Bagaimanapun tepatnya pemilihan minyak pelumas yang digunakan, komponen mesin tersebut tetap akan mengalami keausan meskipun kecil (Subiyanto, 1989).

Aditif minyak pelumas adalah senyawa kimia yang ditambahkan ke dalam minyak pelumas dengan maksud untuk mendapatkan mutu minyak pelumas yang baik dalam pemakaiannya, meningkatkan daya kerja mesin, memperpanjang efisiensi kerja mesin, serta memperpanjang masa pemeliharaan. Aditif tersebut mempunyai persyaratan sebagai berikut: dapat larut dalam minyak pelumas, stabil untuk waktu yang lama, tidak mempunyai bau yang menyengat, serta tidak merusak mesin. Secara garis besar aditif dapat digolongkan atas dua bagian yaitu :

1. Aditif yang bekerja untuk meningkatkan karakteristik sifat fisika seperti: menurunkan titik tuang, meningkatkan indeks viskositas, antibusa dan lain sebagainya.
2. Aditif yang bekerja untuk mempengaruhi dan meningkatkan karakteristik sifat kimia seperti: antioksidan, antikorosi, dispersan/deterjen, dan lain sebagainya (Subarjo, 1985).

**Tabel II.2 Kandungan Senyawa Aditif dalam Minyak Pelumas Bekas**

<b>Jenis Aditif</b>	<b>Senyawa</b>
<i>Anticorrosion</i>	<i>Zinc dithiophosphates, metal phenolates, fatty acids, dan amines</i>
<i>Antifoamant</i>	<i>Silicone polymers dan organic copolymers</i>
<i>Antiodorant</i>	<i>Perfumes dan essential oils</i>
<i>Antioxidant</i>	<i>Zinc dithiophosphates, hindered phenols, aromatic amines, dan sulfurized phenols</i>
<i>Antiwear additive</i>	<i>Chlorinated waxes, alkyl phosphites dan phosphates, lead naphthenate, metal</i>

	<i>triborates, dan metal dan ashless dithiophosphates</i>
<i>Color stabilizer</i>	<i>Aromatic amine compounds</i>
<i>Corrosion inhibitor</i>	<i>Metal dithiophosphates, metal dithiocarbamates, metal sulfonates, thiodiazoles, dan sulfurized terpenes</i>
<i>Detergent</i>	<i>Alkyl sulfonates, phosphonates, alkyl phenates, alkyl phenolates, alkyl carboxylates, dan alkyl-substituted salicylates</i>
<i>Dispersant</i>	<i>Alkylsuccinimides dan alkylsuccinic esters</i>
<i>Emulsifier</i>	<i>Fatty acids, fatty amides, dan fatty alcohols</i>
<i>Extreme pressure additives</i>	<i>Alkyl sulfides, polysulfides, sulfurized fatty oils, alkyl phosphites dan phosphates, metal dan ashless dithiophosphates dan carboxylates, metal dithiocarbamates, dan metal triborates</i>
<i>Friction modifier</i>	<i>Organic fatty acids, lard oil, dan phosphorus-based compounds</i>
<i>Metal deactivator</i>	<i>Metal deactivator organic complexes containing nitrogen dan sulfur amines, sulfides, dan phosphates</i>
<i>Pour point depressant</i>	<i>Alkylated naphthalene and phenolic polymers, dan polymethacrylates</i>
<i>Rust inhibitor</i>	<i>Metal alkylsulfonates, alkylamines, alkyl amine phosphates, alkenylsuccinic acids, fatty acids, alkylphenol ethoxylates, dan acid phosphate esters</i>
<i>Seal swell agent organic</i>	<i>Organic phosphate aromatic hydrocarbons</i>
<i>Tackiness agent</i>	<i>Polyacrylates dan polybutenes</i>
<i>Viscosity</i>	<i>Polymers of olefins, methacrylates, dienes, or alkylated styrenes</i>

(Speight, 2014)

**Tabel II.3** Sifat Fisis Minyak Pelumas Bekas

<b>Sifat Fisis</b>	<b>Jumlah</b>
SG	0,8891
Viskositas Kinematis 40°C	117,6
Viskositas Kinematis 100°C	12,5
Indeks viskositas	102,9
Flash Point (°C)	202
Pour Point (°C)	215
Kadar Logam (ppm)	1991,36

(Siswanti, 2010)

### **II.3 Distilasi**

Distilasi adalah salah satu metode pemisahan komponen dari sebuah larutan yang tergantung pada distribusi zat antara fase gas dan cair berdasarkan titik didih, diterapkan pada kasus di mana semua komponen muncul pada kedua fase. Metode ini tidak menambahkan zat baru ke dalam campuran untuk membentuk fase kedua, seperti yang terjadi pada absorpsi atau desorpsi gas, fase baru diambil dari larutan asli dengan cara penguapan atau kondensasi. (Treybal, 1981)

Distilasi merupakan campuran yang dididihkan dimana komponen yang memiliki titik didih yang lebih rendah akan mempunyai uap yang lebih banyak. Sehingga saat uap tersebut terkondensasi, kondensat akan mengandung lebih banyak komponen yang volatil. Pada saat yang sama, campuran yang asli akan mengandung material yang tidak volatil. Kolom distilasi didesain untuk membuat proses pemisahan ini efisien. (Tham, 2006)

Dalam proses pengolahan minyak pelumas bekas menjadi minyak pelumas mentah, terdapat dua kondisi operasi pada kolom, yaitu kondisi pada tekanan atmosferik dan pada tekanan vakum. Kolom distilasi pada tekanan vakum dipisahkan kandungan fraksi berat minyak pelumas bekas pada minyak pelumas bekas agar suhu operasi tidak terlalu tinggi sehingga minyak pelumas bekas tidak terdegradasi. (Treybal, 1981)

## II.4 Desain Kolom Distilasi

Kolom distilasi adalah alat yang banyak digunakan untuk memisahkan beragam zat kimia. Teori dasar dari pemisahan ini adalah perbedaan titik didih dari komponen yang dipisahkan. Pada bagian bawah kolom distilasi terdapat sumber panas, yaitu *reboiler*. Pada bagian atas kolom distilasi terdapat *condenser* yang mendinginkan uap dari *stage* teratas menjadi cair dan sebuah penampung yang menampung cairan dan mengizinkan sebagian cairan ini dikembalikan sebagai *reflux* dan sebagian lagi diambil sebagai distilat. (Brooks, 1993)

Faktor-faktor yang mempengaruhi operasi kolom distilasi, antara lain:

1. Kondisi *feed* ( $q$ )  
Keadaan campuran dan komposisi *feed* ( $q$ ) mempengaruhi garis operasi dan jumlah stage dalam pemisahan serta mempengaruhi lokasi *feed tray*.
2. Kondisi Refluks  
Pemisahan semakin baik jika sedikit *tray* yang digunakan untuk mendapatkan tingkat pemisahan. *Tray* minimum dibutuhkan dibawah kondisi total refluks, yakni tidak ada penarikan distilat. Sebaliknya refluks berkurang, garis operasi untuk seksi rektifikasi bergerak terhadap garis kesetimbangan.
3. Kondisi Aliran Uap  
Kondisi aliran uap yang merugikan dapat menyebabkan:
  - a. *Foaming*  
Mengacu pada ekspansi *liquid* melewati uap atau gas. Walaupun menghasilkan kontak antar fase *liquid*-uap yang tinggi, *foaming* berlebihan sering mengarah pada terbentuknya *liquid* pada *tray*.
  - b. *Entrainment*  
Mengacu pada *liquid* yang terbawa uap menuju *tray* diatasnya dan disebabkan laju alir uap yang tinggi menyebabkan efisiensi *tray* berkurang.

Bahan yang sukar menguap terbawa menuju plate yang menahan *liquid* dengan bahan yang mudah menguap. Dapat mengganggu kemurnian distilat. *Entrainment* berlebihan dapat menyebabkan *flooding*.

c. *Weeping/ Dumping*

Fenomena ini disebabkan aliran uap yang rendah. Tekanan yang dihasilkan uap tidak cukup untuk menahan *liquid* pada *tray*. Karena itu *liquid* mulai merembes melalui perforasi.

d. *Flooding*

Terjadi karena aliran uap berlebih menyebabkan *liquid* terjebak pada uap diatas kolom. Peningkatan tekanan dari uap berlebih menyebabkan kenaikan *liquid* yang bertaan pada plate diatasnya. *Flooding* ditandai dengan adanya penurunan tekanan diferensial dalam kolom dan penurunan yang signifikan pada efisiensi pemisahan. (Komariah, 2009)

## II.5 Macam-Macam Evaporator

Evaporasi adalah suatu operasi yang digunakan untuk memekatkan larutan dari terlarut yang tidak mudah menguap dan pelarut yang mudah menguap, biasanya adalah air. Sebagian dari pelarut menguap untuk menghasilkan larutan pekat, *slurry*, dan larutan viskos. (Glover, 2004)

Evaporasi berbeda dengan pengeringan yang mana residu lebih mudah mengalir dari pada padatannya. Evaporasi berbeda dengan distilasi yang mana tidak terdapat pemisahan uap menjadi komponen tunggal. (Glover, 2004)

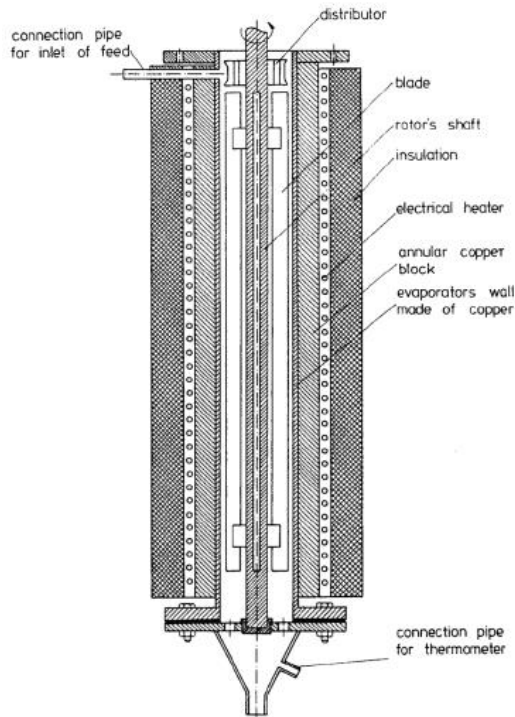
Terdapat beberapa macam dan variasi dari evaporator, dan pemilihan evaporator tersebut berdasarkan karakteristik produk dan hasil yang diinginkan. Lebih jelas dapat dilihat pada table II.4. (Glover, 2004)

**Tabel II.4** Kriteria Pemilihan Evaporator

<b>Tipe</b>	<b>Bersih</b>	<b>Kapasitas Besar</b>	<b>Padat atau Kristal</b>	<b>Kerak</b>	<b>Berbusa</b>	<b><i>Thermal Sensitive</i></b>	<b>Viskos</b>
<i>Batch</i>	X						X
<i>Horizontal Tube</i>	X						
<i>Vertical Short Tube</i>	X						
<i>Vertical Long Tube</i>	X	X					
<i>Rising Falling Film</i>	X	X			X		
<i>Falling Film</i>	X	X	X		X	X	
<i>Forced Circulation</i>	X	X	X	X	X		
<i>Plate</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Agitated Thin Film</i>	X	X	X	X	X	X	X

## **II.6     *Thin-Film Evaporator***

Thin-film evaporator diaplikasikan dalam *heat exchanger* yang disebut *thin film or thin layer evaporator*. Walaupun *thin layer evaporator* dipertimbangkan sebagai *mass and heat exchanger*, karena molekul dari fasa liquida ditransfer ke fasa gas selama penguapan dan perpindahan molekul dari fasa gas ke molekul dari fasa liquida mungkin terjadi selama proses kondensasi. Alat ini diaplikasikan dalam dunia kimia, farmasi, dan makanan sejak tahun 1950. Ilustrasi *Vertikal thin-film evaporator* seperti gambar II.1. (Dziak, 2011)



**Gambar II.2** *Vertical Thin-Film Evaporator*

Sistem wiper berputar mendistribusikan produk mentah ke sebuah film pada permukaan bagian dalam dari pipa yang dipanaskan. Kecepatan sistem menyeka proses penguapan dengan menjaga turbulent film produk sehingga perpindahan panas dan perpindahan massa dapat dioptimalkan. Fraksi didih yang lebih rendah dari bahan baku menguap dalam waktu singkat dari film produk; waktu tinggal produk di dinding evaporator sangat singkat. Uap dikondensasikan pada kondensor eksternal. Konsentrat terus dibuang keluar dari bagian bawah evaporator. Sebagai kondensor yang terletak di luar evaporator dan terhubung ke evaporator melalui pipa, kecepatan uap pada tingkat penguapan yang tinggi

dan tekanan rendah akan menjadi sangat tinggi. Karena penurunan tekanan yang diciptakan oleh uap dalam perjalanan mereka ke kondensor eksternal, vakum dicapai dalam film evaporator sekitar 1 mbar. (<http://www.vta-process.de>)

Kelebihan dari alat ini adalah proses distilasi yang terus menerus, tekanan operasi yang rendah, waktu tinggal singkat, kecepatan penguapan yang cepat, proses pada titik didih tinggi, viskositas tinggi atau memungkinkan produk menjadi kristal, kombinasi dengan kolom untuk meningkatkan jumlah pelat teoritis sangat memungkinkan, dan dinding evaporator tahan akan kerak. (<http://www.vta-process.de>)

Kelebihan lain dari alat ini adalah massa mengalir dengan cepat dan terjadi fenomena pertukaran panas, memungkinkan untuk menurunkan tekanan atau vakum. Alat ini dapat digunakan untuk zat yang sensitif terhadap panas (asam lemak, minyak esensial), ekstrak makanan atau produk farmasi(jus gula tebu, *sweetened beet*, gelatin, vitamin buatan atau alami), penghilangan pelarut mulai dari ekstrak tumbuhan dan penggunaan kembali pelarut (cat, lemak, minyak, dan resin), konsentrasi dari ketang tumbuk, jus buah, and *vegetables*, konsentrasi dari susu dan turunanya, pemurnian dari produk polimer. Permukaan tipis ini juga digunakan untuk reaksi kimia dan desalinasi air. (Zeboudj, 2006)

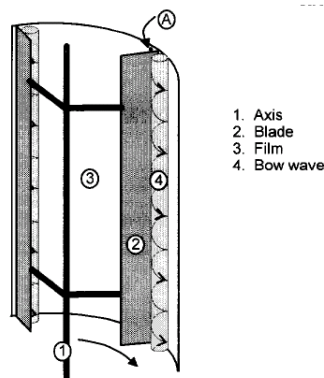
Faktor kunci dari transfer panas dan masa dan untuk waktu tinggal liquid dalam alat ini adalah ketebalan permukaan. Film permukaan ini bergantung pada beberapa faktor seperti geometri dinding, pengadukan, dan karakteristik liquid. (Zebaoudj, 2006)

Terdapat dua tipe utama dalam thin-film evaporator, yakni *static type thin-film evaporator* dan *mechanically agitated thin-film evaporator*. Semua tipe tersebut dilengkapi dengan pemanas didinding silindernya. Pemanas tersebut terletak dibagian luar dan dibagian dalam aliran liquida jatuh kebawah searah gravitasi dipermukaan silinder yang panas. Selama proses tersebut, vaporasasi pun terjadi. Jika aliran liquida mengalir bebas karena dipengaruhi gaya gravitasi, tanpa adanya hambatan. Hal ini berarti



tidak ada gaya mekanik yang bekerja pada aliran liquid yang mengalir didalam apparatus, maka apparatus tersebut disebut dengan *thin-film evaporator* tipe statis. Jika evaporator dilengkapi dengan blade yang mencampur liquid yang mengalir dalam apparatus, sehingga apparatus disebut dengan *mechanically agitated thin-layer evaporator* atau *mechanical thin-layer evaporator*. (Dziak, 2011)

Efisiensi operasi dipengaruhi oleh bilah penyeka yang mana campuran permukaan pada kondisi gas-permukaan vakum. Sebagai bilah yang melalui permukaan, cairan pada dinding tercampur dengan itu yang terbawa oleh ujung bilah. Konsentrasi volatil di permukaan berada pada tepi ujung bilah (contoh konsentrasi di permukaan adalah permulaan tahap devolatilisasi) adalah fungsi dari konsentrasi pada permukaan diakhir tahap deolatilisasi sebelumnya, konsentrasi cairan yang masuk ke dalam evaporator melalui bagian atas, dan derajat campuran antara permukaan dan gelombang cairan.



**Gambar II.3** Skema dari *Thin Film Evaporator*  
(McKenna, 1994)

Dasar teori mengenai penentuan efisiensi pemisahan dari *thin film evaporator* disampaikan oleh Billet R. (1957). Billet mengatakan bahwa pembentukan uap selama penguapan campuran

liquid dihilangkan dari evaporator tanpa adanya kontak dengan fasa cair yang mengalir ke tabung. Teori Billet berdasarkan terhadap neraca massa dari senyawa volatil yang nilainya tidak sama pada bagian kecil  $dh$  dalam evaporator, yang dibentuk oleh pipa, pemanasan dari bagian luar, bagian dalam terjadi proses penguapan. Asumsi bahwa pada elemen ini cairan dan uap yang dihasilkan berada dalam keadaan setimbang ( $y=y^*$ ). (lihat gambar 3). maka dapat dituliskan persamaannya sebagai berikut:

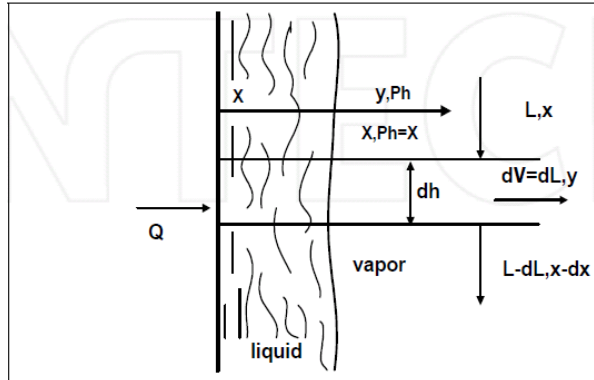
$$L \cdot x = (L - dV) \cdot (x - dx) + y^* dV \quad (\text{II.1})$$

Dimana  $L$  adalah aliran molar cairan di inlet ke elemen panjang  $dh$ ,  $x$  adalah konsentrasi senyawa yang lebih volatil dalam liquida yang tepat di inlet ke elemen  $dh$ ,  $(L - dV)$  aliran molar liquida dibagian outlet dari element  $dh$ ,  $(x - dx)$  konsentrasi senyawa yang lebih volatile pada liquida di outlet dari elemen  $dh$ ,  $dV$  - aliran molar dari uap yang terproduksi pada element panjang  $dh$  dari evaporator,  $y^*$  - konsentrasi uap, yang mana berada pada kondisi setimbang dengan konsentrasi liquida dari komponen yang lebih volatile.

Persamaan II.1 dapat diintegral:

$$\ln \frac{L_F}{L_R} = \int_{x_R}^{x_F} \frac{dx}{y^* - x} \quad (\text{II.2})$$

Integral II.2 dapat diselesaikan dengan numerik, Persamaan ini memungkinkan perhitungan laju aliran residu dari evaporator  $L_R$ , mengetahui nilai-nilai dari aliran flow feed  $L_F$ , konsentrasi  $x_F$  serta konsentrasi  $x_R$  residu. Hal ini juga diperlukan untuk memiliki data kesetimbangan uap-cair [ $y^* = f(x)$ ].



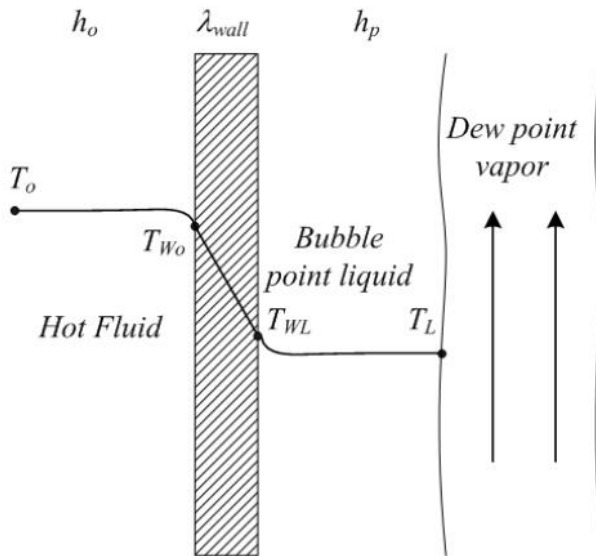
**Gambar II.4** Skema dari Penguapan Lapisan Tipis Dua Komponen Cairan (Dziak, 2011)

Komposisi distilat rata-rata dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan neraca massa

$$D = L_F - L_R \quad (\text{II.3})$$

$$X_D = \frac{L_F \cdot X_F - L_R \cdot X_R}{D} \quad (\text{II.4})$$

Mannheim dan Passy (Mannheim CH & Passy N., 1974) menyatakan bahwa selama proses penguapan campuran cair, dalam posisi vertical thin film evaporator, Rektifikasi bisa muncul sebagai akibat dari aliran counter current dari fase cair dan uap dalam evaporator. Titik pandang yang sama disajikan Billet (Billet, 1983). Dia juga mengatakan bahwa distilasi dari campuran liquida di thin film evaporator dapat menyebabkan pemisahan secara signifikan lebih baik dari pada yang diperoleh dalam distilasi batch sederhana. Efek ini disebabkan oleh kontak langsung dari fase cair dan gas di evaporator. (Dziak, 2011)



**Gambar II.5** Hambatan perpindahan panas pada *thin film evaporator* ( Toledo, 2006)

Jumlah panas yang diransfer melalui media pemanas menuju dinding harus sama dengan jumlah panas yang ditransfer dari dinding menuju cairan likuida. Persamaan II.11 adalah permodelan dari gambar II.5 untuk mendapatkan nilai koefisien perpindahan panas.

Perhitungan yang digunakan untuk mengetahui hasil massa produk yang dihasilkan dari proses pemisahan menggunakan *thin film evaporator* bergantung pada kecepatan putaran rotor yang juga akan mempengaruhi berapa koefisien perpindahan panas yang dihasilkan untuk tiap kecepatan putaran rotor yang berbeda. Perbedaan koefisien perpindahan panas juga akan mempengaruhi berapa hasil massa produk yang terpisahkan. Perhitungan untuk mencari koefisien perpindahan panas adalah sebagai berikut:

$$Nu = 0.65 * Re_F^{0.25} * Re_N^{0.43} * Pr^{0.3} Nb^{0.33} \quad (II.5)$$

Dimana (II.6)

$$D_e = \frac{D_s^2 - D_r^2}{D_s}$$

$$Re_F = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot \mu} \quad (II.7)$$

$$Re_N = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{\mu} \quad (II.8)$$

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{k} \quad (II.9)$$

$$Nu = \frac{h_p \cdot D}{k} \quad (II.10)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_s} + \frac{1}{h_p} + \frac{\sigma_w}{k_w} \quad (II.11)$$

Dari persamaan II.5 hingga II.10 maka akan didapatkan nilai dari koefisien perpindahan panas untuk setiap perubahan kecepatan rotor. Setelah didapatkan nilai dari koefisien perpindahan panas, untuk mendapatkan hasil massa uap produk dari proses pemisahan menggunakan *thin film evaporator* ini dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$U = \frac{F_f C_p (T_p - T_f) - V \lambda}{A \Delta T_{lm}} \quad (II.12)$$

Dari persamaan II.14 bisa didapatkan berapa massa produk yang terbentuk untuk setiap perubahan koefisien perpindahan panas. (Chawankul, 2000) dimana  $\Delta T_{lm}$  adalah rata-rata logaritmik dari perbedaan suhu antara aliran panas dari steam dan aliran keluaran produk minyak pelumas bekas.

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{h,i} - T_{bot}) - (T_{h,o} - T_{top})}{\ln \left( \frac{T_{h,i} - T_{bot}}{T_{h,o} - T_{top}} \right)} \quad (II.13)$$

## II.7 Pemilihan Aplikasi Termodinamika untuk Pemodelan Proses

Dalam penelitian, begitu juga dengan simulasi untuk mendekati kondisi simulasi dengan kondisi lapangan sangat diperlukan pemilihan model termodinamika yang paling akurat.

Sebagai acuan pemilihan model termodinamika ditampilkan pada tabel II.5.

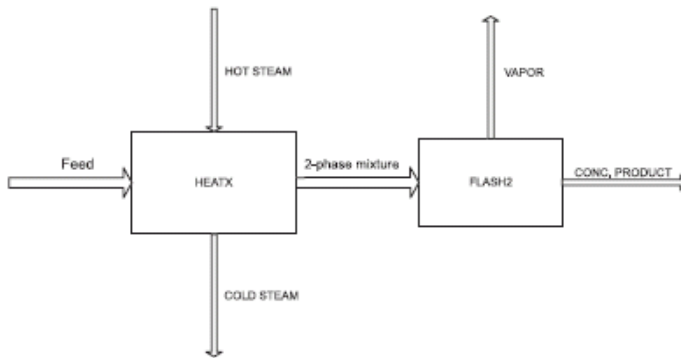
**Tabel II.5** Model Thermodinamika

Chemical Systems	Primary Choice Models of Today	Secondary Choice Models	Problem Areas
Air Separation	Peng-Robinson, Soave-Redlich-Kwong	Corresponding States	
Gas Processing	Peng-Robinson, Soave-Redlich-Kwong	BWRS	
Gas Treating	Kent-Eisenberg, Electrolyte NRTL		Data, Parameters, Models for mixed amines
Petroleum Refining	BK10, Chao-Seader, Grayson-Streed, Peng-Robinson, Soave-Redlich-Kwong, Lee-Kessler-Plöcker		Heavy crude characterization
Petrochemicals—VLE	Peng-Robinson, Soave-Redlich-Kwong, PSRK	NRTL, UNIQUAC, UNIFAC	Data, Parameters
Petrochemicals—LLE	NRTL, UNIQUAC		Data, Parameters, Models for VLE systems
Chemicals	NRTL, UNIQUAC, PSRK	UNIFAC	Data, Parameters
Electrolytes	Electrolyte NRTL, Zemaitis	Pitzer	Data, Parameters, Databanks, Models for polyelectrolytes
Oligomers	Polymer NRTL	UNIQUAC, UNIFAC	Pure component fugacity, Databanks
Polymers	Polymer NRTL, PC-SAFT	Sanchez-Lacombe, SAFT, UNIFAC-FV	Data, Parameters, Databanks, Flash algorithms, Models for polar polymers, block copolymers
Steam	NBS/NRC		
Environmental	UNIFAC+Henry's Law		Data
Pharma/Biological	None		Data, Databanks, Models

Dalam tabel II.5 pemilihan model termodinamika dipengaruhi oleh sistem kimia. Untuk mendapatkan model yang paling akurat pemilihan juga dipengaruhi oleh kondisi operasi (tekanan dan temperatur) terutama untuk proses dalam fase gas. (Chen dan Mathias, 2002)

## **II.8 Penelitian Terkait**

Penelitian Chawankul *et al* (2001) yang berjudul “*Simulation of an Agitated Thin Film Evaporator for Concentrating Orange Juice Using AspenPlus™*”. Penelitian ini menggunakan Aspen Plus™ untuk mendesain thin film evaporator. Thin film evaporator dikembangkan menggunakan model penukar panas *rigorous* dapat dilihat pada gambar II.6, *heatx* diikuti oleh sebuah model *rigorous 2-phase flash*. *Flash2* seperti gambar 2.4. Bahan baku masuk kedalam blok *heatx* merupakan minyak pelumas bekas. Steam masuk ke *heatx* dan meninggalkannya menjadi kondensat. Produk dari *heatx* adalah campuran 2 fasa antara uap air dan minyak pelumas bekas. Aliran ini tidak seperti proses nyata. Model *flash2* ini digunakan untuk memisahkan minyak pelumas bekas dan uap air serta zat volatil lainnya. Produk dari *flash2* menggambarkan 2 produk dalam proses sebenarnya. Tekanan pada *flash2* dapat diasumsikan sama dengan tekanan pada *heatx* dan keadaan dapat diasumsikan berjalan secara adiabatik. Operasi adiabatik adalah asumsi yang beralasan karena bahan baku untuk *flash2* adalah campuran asa dari uap air dan minyak pelumas bekas, tujuan dari *flash2* adalah untuk memisahkan dua fasa. (Chawankul, 2001)



**Gambar II.6** Flowsheet Simulasi dengan Aspen Plus™ dari Proses Penguapan

Informasi yang dibutuhkan oleh Aspen Plus™ untuk mesimulasikan proses ini adalah:

- Aliran minyak pelumas bekas ke proses (**kecepatan aliran, komposisi, temperatur, tekanan, dan fraksi uap**)
- Aliran *steam* ke proses (**kecepatan aliran, komposisi, temperatur, tekanan, dan fraksi uap**)
- Desain dan kondisi operasi heatx (**area penukaran panas dan koefisien *overall heat transfer***)
- Kondisi operasi untuk flash2 (temperatur, **tekanan**, fraksi uap atau ***heat duty***)

Variabel yang di-bold adalah salah satu yang ditentukan dalam simulasi ini, variabel tersebut ditentukan melalui percobaan atau perhitungan koefisien *overall heat transfer*. (Chawankul, 2000)

Penelitian Rafie R. M., *et al* (2013) yang berjudul “*Waste lubricating oil treatment by extraction and adsorption*”. Penelitian ini membahas pemurnian minyak pelumas bekas menggunakan ekstraksi dan adsorpsi. Penelitian ini menggunakan 6 jenis pelarut (*n-hexane, 1-butanol, petroleum ether, 1-hexanol, carbon tetra chloride, dan acetone*) dievaluasi secara percobaan. Ratio antara pelarut dan minyak adalah 1:1 sampai 4:1 juga diperiksa. Penelitian ini telah mempelajari efek dari penggunaan KOH untuk



meningkatkan flokulasi, ekstraksi menggunakan pelarut, adsorpsi, dan proses filtrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 1-butanol mencapai kinerja terbaik dengan penghapusan *percent sludge removal*, diikuti oleh *n-hexane*, *petroleum ether*, *1-hexanol*, *carbon tetrachloride*, and *acetone*. Persentase lumpur minyak ditemukan meningkat dengan peningkatan pelarut untuk rasio minyak hingga mencapai maksimum pada rasio 3:1. Penerapan proses adsorpsi menggunakan bahan adsorben yang berbedapun diinvestigasi. Bahan adsorben seperti *shell almond*, *walnut shell*, kulit telur, dan tanah liat teraktivasi asam yang disiapkan secara lokal digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *acid activated clay* memberikan hasil yang terbaik kemudian diikuti hasil dari *almond shell powder*. Viskositas meningkat dari 38 cst untuk minyak pelumas bekas menjadi 85 cst untuk asam/*clay treatment* dan *flash point* meningkat dari 178°C ke 238 °C, sementara densitas turun dari 912 ke 896 kg/m<sup>3</sup>. *Pour point* dari -6 °C ke -13,2 °C. (Rafie, 2013)

Penelitian Kurniasarai dan Lina yang berjudul “*Evaporating Process Simulation of Black Liquor in Falling Film Evaporator with Air Flow*”. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa fenomena transfer massa dan panas dalam *falling film evaporator* dengan *black liquor-air system* dan menentukan model matematika dan solusi numerik untuk memprediksi performa *falling film evaporator*. Aparatus untuk skala laboratorium memiliki panjang kolom adalah 2m dan diameter kolom adalah 2,54m. Distribusi suhu dan konsentrasi dari produk dikembangkan dengan model matematika yakni menggunakan *Runge-Kutta* orde 4 dan software yang digunakan adalah Matlab. Penelitian menggunakan Matlab dapat memprediksi suhu liquid, distribusi suhu gas, dan distribusi konsentrasi. Program ini juga dapat memprediksi konsentrasi *black liquor* yang keluar dari evaporator. (Dewi, 2009)

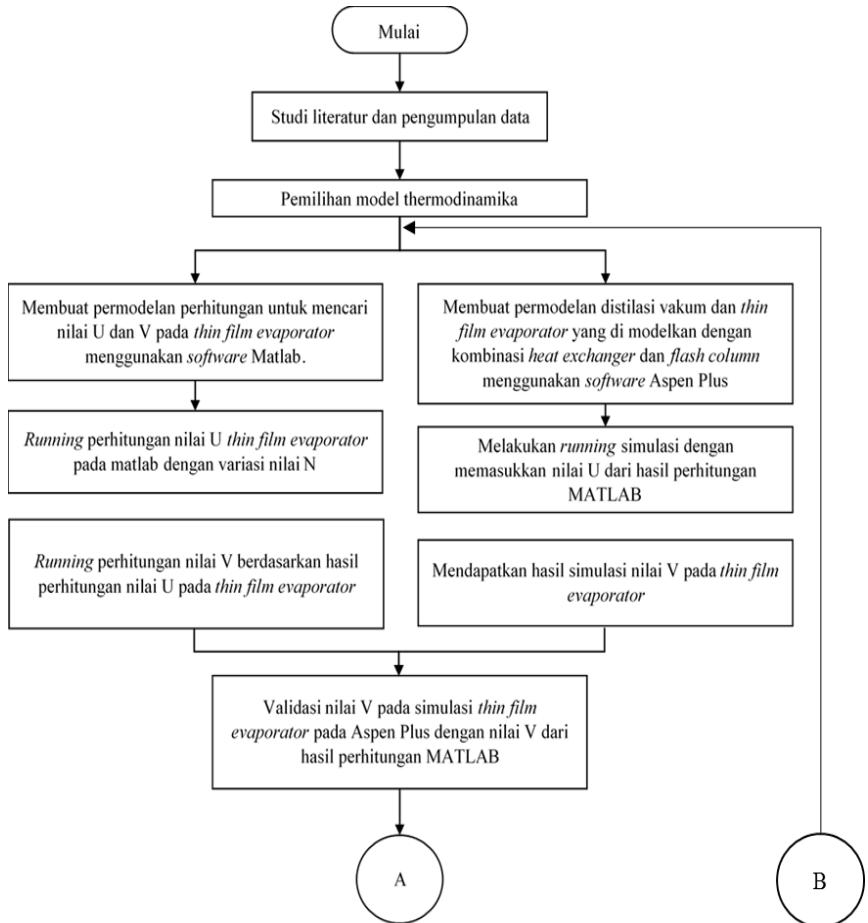
Penelitian oleh Riszi dan Herman pada 2016 yang berjudul “*Simulasi Distilasi Vakum dan Thin-Film Evaporator Untuk Memisahkan Lube Oil Dari Fraksi Berat Minyak Pelumas Bekas*”

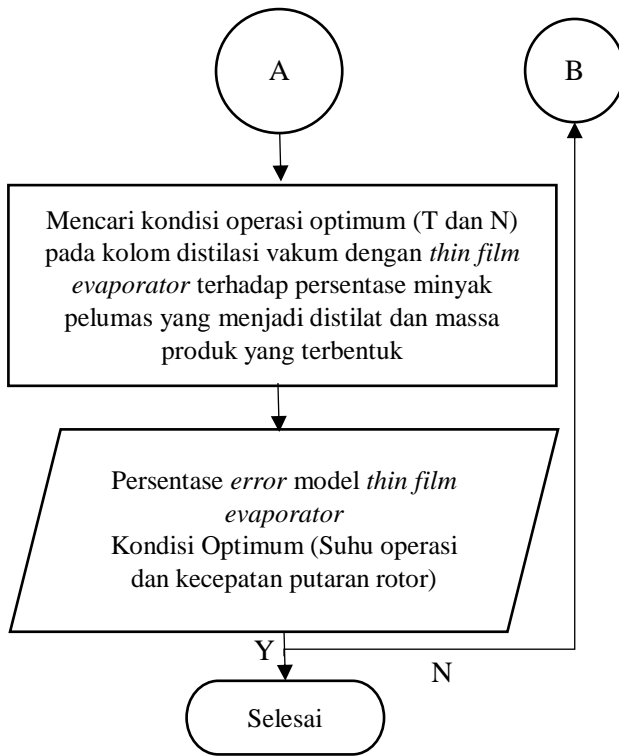
adalah melakukan permodelan *thin-film evaporator* dengan menggunakan *software* Aspen HYSYS. *Thin-film Evaporator* dimodelkan dengan sistem *heat exchanger* dan *flash drum*. Dimana penelitian yang dilakukan tidak memperhitungkan pengaruh putaran rotor terhadap proses pemisahan *lube oil*. (Riszi dan Herman, 2016)

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### III.1 *Flowchart Penelitian*

Dalam Penelitian ini dilakukan simulasi terhadap peralatan *Vacuum Distillation Column* dengan *Thin Film Evaporator*. Dengan tahapan sebagai berikut :





**Gambar III.1** Diagram Alir Penelitian

### III.2 Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Studi literatur bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai sistem *Vacuum Distillation* dan *Thin Film Evaporator* yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan, seperti panduan kondisi operasi, kandungan kontaminan pada minyak pelumas bekas, pengaruh variabel terhadap proses, dan juga cara memodelkan *Vacuum Distillation Column* dan *Thin Film Evaporator* pada Aspen Plus maupun Matlab.

Pengumpulan data-data meliputi komposisi bahan dan flowrate yang nantinya menunjang penelitian. Adapun

pengumpulan data yang dilakukan meliputi data spesifikasi dari komposisi bahan

### III.3 Pemilihan Model Thermodinamika

Pemilihan model thermodinamika dilakukan berdasarkan komponen-komponen input yang terdapat dalam minyak pelumas bekas, dan kondisi operasi pada sistem *Vacuum Distillation Column* dan *Thin Film Evaporator*. Agar program simulasi dapat berjalan dengan baik, maka harus dilakukan pemilihan model thermodinamika yang tepat. Pada simulasi ini, dipakai model thermodinamika *Peng-Robinson* yang sesuai untuk proses pengolahan minyak pelumas bekas.

### III.4 Membuat Pemodelan *Thin Film Evaporator*

#### Menggunakan Software Aspen Plus

Dalam memodelkan *Thin Film Evaporator* pada Aspen Plus, menurut jurnal yang berjudul “*Simulation of Agitated Thin Film Evaporator For Concentrating Orange Juice Using Aspen Plus™*” oleh Chawankul dapat dimodelkan dengan kombinasi *Heat Exchanger* dan *Flash Drum* dengan menggunakan perhitungan *Flash Calculation*. Hal ini dikarenakan tidak adanya fitur *thin film evaporator* pada *bar pallete* yang ada pada Aspen Plus™. Karena itu permodelan yang ada pada simulasi Aspen Plus™ harus divalidasi menggunakan perhitungan manual menurut pengaruhnya terhadap koefisien perpindahan panas menggunakan persamaan hubungan koefisien perpindahan panas dengan produk distilat yang terbentuk sebagai berikut:

$$U = \frac{F_f C_p (T_p - T_f) + V \lambda}{A \Delta T_{lm}} \quad (III. 1)$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{h,i} - T_{bot}) - (T_{h,o} - T_{top})}{\ln \left( \frac{T_{h,i} - T_{bot}}{T_{h,o} - T_{top}} \right)} \quad (III. 2)$$

Dimana nilai  $\Delta T_{lm}$  adalah nilai rata-rata logaritmik dari perbedaan suhu antara aliran panas dari *steam* dan aliran dingin dari minyak pelumas bekas. Koefisien perpindahan panas disimbolkan dengan

U dan hasil massa distilat yang didapat disimbolkan dengan V. Namun nilai U akan berubah seiring perubahan nilai dari putaran rotor pada *thin film evaporator*. Maka untuk mendapatkan nilai U perlu dilakukan perhitungan melibatkan berbagai macam variabel dengan persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$Nu = 0.65 * Re_F^{0.25} * Re_N^{0.43} * Pr^{0.3} * Nb^{0.33} \quad (III. 3)$$

$$D = \frac{D_s^2 - D_r^2}{D_s} \quad (III. 4)$$

$$Re_F = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot \mu} \quad (III. 5)$$

$$Re_N = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{\mu} \quad (III. 6)$$

$$Pr = \frac{Cp \cdot \mu}{k} \quad (III. 7)$$

$$Nu = \frac{h_p \cdot D}{k} \quad (III. 8)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_s} + \frac{1}{h_p} + \frac{\sigma_w}{k_w} \quad (III. 9)$$

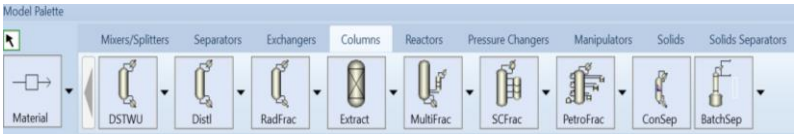
Dengan ini bisa didapatkan nilai koefisien perpindahan panas serta dapat sekaligus memvariasikan putaran rotor *thin film evaporator* (N). Nilai koefisien perpindahan panas yang didapatkan dari perhitungan manual kemudian akan dimasukkan ke simulasi pada *software Aspen Plus<sup>TM</sup>*.

Perhitungan manual ini juga digunakan untuk memvalidasi hasil simulasi yang ada pada Aspen Plus<sup>TM</sup> sehingga akan didapatkan *error* antara perbandingan hasil dari simulasi dan perhitungan manual

Dalam hal ini dibutuhkan data-data seperti *size* dari *thin film evaporator*. *Size* yang digunakan adalah *scale up* dari peralatan yang ada di laboratorium Trosobo yang disesuaikan dengan perbedaan kapasitas yang digunakan. Kemudian data kondisi dari *feed*, baik dari komposisi, *flowrate*, suhu dan tekanan. Kondisi dari *steam* baik dari jenis *steam*, suhu dan tekanan yang digunakan juga akan mempengaruhi metode penelitian yang akan dilaksanakan.

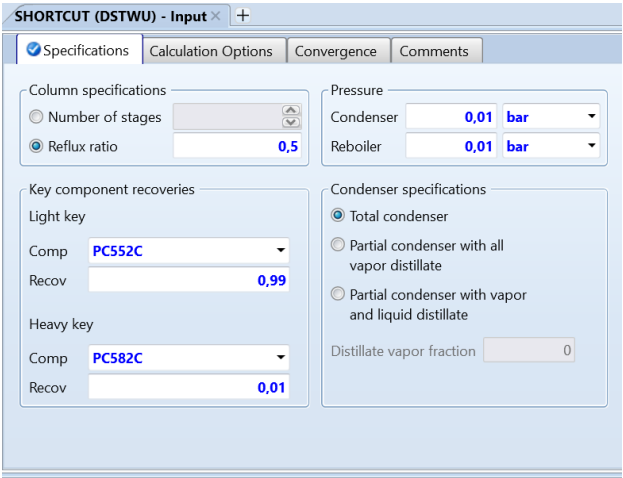
III.5 Membuat *Shortcut Distillation*

*Shortcut Distillation* (DSTWU) merupakan fitur yang dapat membantu mengetahui data-data yang harus dispesifikasikan pada kolom distilasi seperti jumlah *tray*, *feed tray* dan sebagainya. DSTWU berada pada bar *pallette* bagian *column* pada Aspen Plus™ seperti pada Gambar III.2.



Gambar III.2 Display Model Palette pada Aspen Plus™

Data-data yang harus dimasukkan dalam DSTWU adalah tekanan *reboiler* dan *condenser*, *light key* dan *heavy key* serta *trial reflux ratio*. Untuk tampilannya dapat dilihat seperti pada Gambar III.3



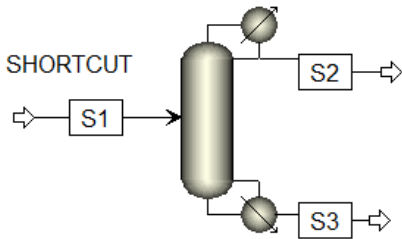
Gambar III.3 Display Contoh Pengisian Spesifikasi DSTWU

Dari hasil *running* simulasi DSTWU akan didapatkan hasil yang harus dispesifikasikan pada kolom distilasi vakum seperti *actual tray*, *feed tray*, *minimum reflux ratio* dan sebagainya seperti pada Tabel III.1 berikut

**Tabel III.1** Hasil *running* simulasi DSTWU yang dispesifikasikan dalam kolom distilasi

Parameter	Nilai
Minimum Reflux	0,34
Minimum Stage	15
Actual Stage	30
Feed Stage	16

Model DSTWU pada Aspen Plus™ yang disimulasikan adalah seperti pada Gambar III.4 sebagai berikut



**Gambar III.4** Model DSTWU

**III.6 Membuat Pemodelan Kolom Distilasi Vakum Yang Digabungkan dengan *Thin Film Evaporator* Sebagai *Reboiler***

Fitur kolom distilasi pada Aspen Plus™ menggunakan RadFrac, *displaynya* ada pada Gambar III.2. Namun dipilih yang tanpa menggunakan *reboiler* karena *reboiler* yang digunakan adalah kombinasi antara *heat exchanger* dan *flash drum* sebagai model dari *thin film evaporator*. Dalam kolom distilasi harus dispesifikasikan beberapa hal seperti jumlah *tray*, *feed tray*,



tekanan operasi dan sebagainya. Tampilannya seperti pada Gambar III.5 berikut

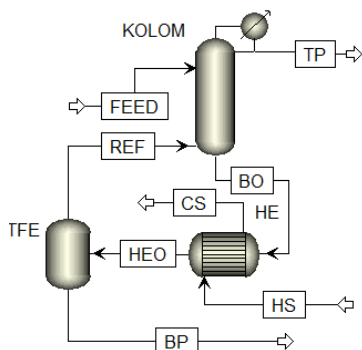
The screenshot displays a software interface for configuring a distillation column. It features several tabs at the top: Configuration, Streams, Pressure, Condenser, Reboiler, 3-Phase, and Comments. The 'Configuration' tab is active, showing 'Setup options' with fields for Calculation type (Equilibrium), Number of stages (30), Condenser (Total), Reboiler (None), Valid phases (Vapor-Liquid), and Convergence (Standard). Below this, 'Operating specifications' include a Reflux ratio of 0.43686 (Mass basis) and a Free water reflux ratio of 0. A 'Design and specify column internals' button is also present.

The 'Streams' tab is also visible, showing 'Feed streams' and 'Product streams' tables. The 'Feed streams' table has columns for Name, Stage, and Convention, with entries for stages 5 and 9. The 'Product streams' table has columns for Name, Stage, Phase, Basis, Flow, Units, and Flow, with entries for stages 6 and 7.

The 'Pressure' tab is active, showing 'View' options (Top / Bottom) and 'Top stage / Condenser pressure' set to 0.01 bar. It also includes sections for 'Stage 2 pressure (optional)' and 'Pressure drop for rest of column (optional)', each with radio buttons for Stage 2 pressure, Condenser pressure drop, Stage pressure drop, and Column pressure drop.

**Gambar III.5** Contoh Spesifikasi Yang Harus Diisi Pada Kolom Distilasi

Dengan model dari kolom distilasi vakum yang dikolaborasikan dengan *Thin film Evaporator* adalah seperti pada gambar III.6 berikut



**Gambar III.6** Model Kolom Distilasi Vakum Dengan *Thin Film Evaporator*

Kemudian akan divariasikan variabel suhu dan tekanan untuk mengetahui kondisi operasi optimum untuk keseluruhan proses pemisahan menggunakan kolom distilasi vakum dan *thin film evaporator*.

### III.7 Membuat Model Distilasi Biasa Tanpa Menggunakan *Thin Film Evaporator*

Metode ini bertujuan untuk membandingkan bagaimana performa penggunaan *thin film evaporator* jika dibandingkan dengan penggunaan *reboiler* biasa. Metode pembuatan model dan menjalankan simulasi sama dengan metode untuk distilasi vakum dengan *thin film evaporator*. Pemilihan fitur lokasinya sama dengan Gambar III.2 namun memilih RadFrac kolom distilasi dengan total *condenser* dan *reboiler*. Kemudian hasil dari simulasi distilasi vakum biasa akan dibandingkan dengan yang menggunakan *thin film evaporator*.

### III.8 Pemilihan Variabel Manipulasi Proses

Melakukan pemilihan beberapa macam variabel proses yang dapat mempengaruhi produk melalui simulasi menggunakan program Aspen Plus™. Variabel proses pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Suhu operasi

Variabel suhu operasi dipilih pada *range* 330°C hingga 360°C dengan interval 10°C. Dengan variasi suhu operasi akan diketahui bagaimana respon terhadap persentase fraksi minyak pelumas yang terambil massa produk yang didapatkan

2. Putaran rotor *thin film evaporator*

Kecepatan putaran rotor yang dipilih adalah 10 hingga 1000 rpm. Hal ini akan mempengaruhi nilai dari koefisien perpindahan panas yang juga dapat mempengaruhi hasil massa dari distilat yang terbentuk.

### III.9 Variabel Yang Ditetapkan

Untuk menjalankan penelitian ini, perlu adanya variabel yang ditetapkan. Variabel yang ditetapkan antara lain sebagai berikut:

1. Tekanan operasi

Tekanan operasi yang digunakan adalah tekanan 1 kPa. Karena memang kondisi dari proses ini adalah kondisi vakum. Sebab penggunaan kondisi vakum ini adalah agar tidak perlu menggunakan kondisi suhu tinggi untuk menjalankan operasi

2. *Steam*

*Steam* yang digunakan adalah jenis *superheated steam* dengan suhu 500 °C dengan tekanan 1 atm. Karena penggunaan *saturated steam* masih kurang untuk memanaskan hingga variabel suhu yang ditetapkan dan juga agar tidak membutuhkan kebutuhan *steam* yang banyak.

3. *Reflux Ratio*

Karena ini adalah proses distilasi, maka variabel *reflux ratio* adalah hal yang harus dispesifikasikan. *Reflux ratio* yang digunakan adalah 1,3 dengan nilai  $R_{\min}$  yang ditetapkan oleh hasil dari *shortcut distillation* yang berbeda tiap variabel suhu pada *software Aspen Plus*<sup>TM</sup>

### **III.10 Menganalisa Hasil Proses**

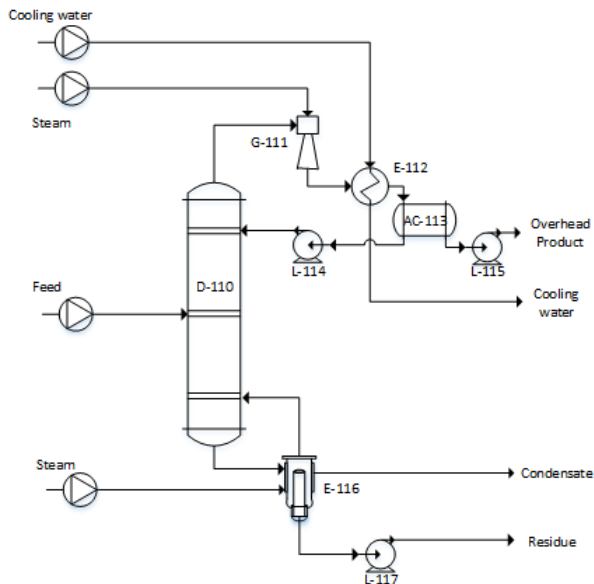
Pertama adalah menganalisa untuk validasi *thin film evaporator*, sehingga akan diketahui berapa persen error yang dihasilkan oleh pemodelan menggunakan kombinasi *heat exchanger* dan *flash drum*. Metode ini akan sekaligus bisa mendapatkan hasil perhitungan variasi putaran rotor *thin film evaporator*. Sehingga didapatkan nilai koefisien perpindahan panas untuk tiap variasi putaran rotor dan didapatkan variabel putaran rotor yang terbaik pada berapa rpm. Kemudian hasil nilai koefisien perpindahan panas dimasukkan pada model *thin film evaporator* yang dikombinasikan dengan kolom distilasi vakum. Sehingga dapat diketahui, dengan variasi suhu dan tekanan, kondisi operasi optimum dari segi suhu dan tekanan operasi.

## **BAB IV**

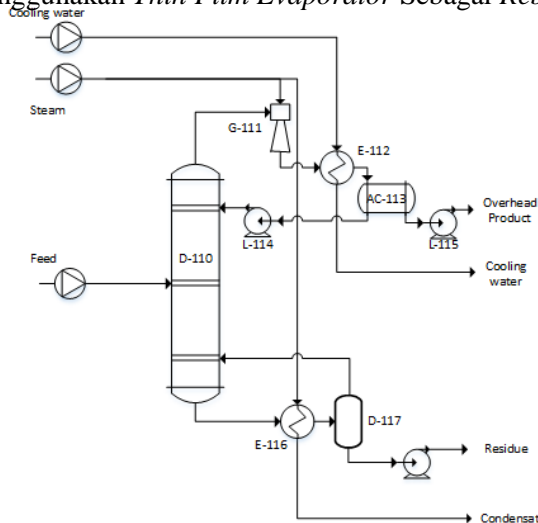
### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **IV.1 Simulasi Proses**

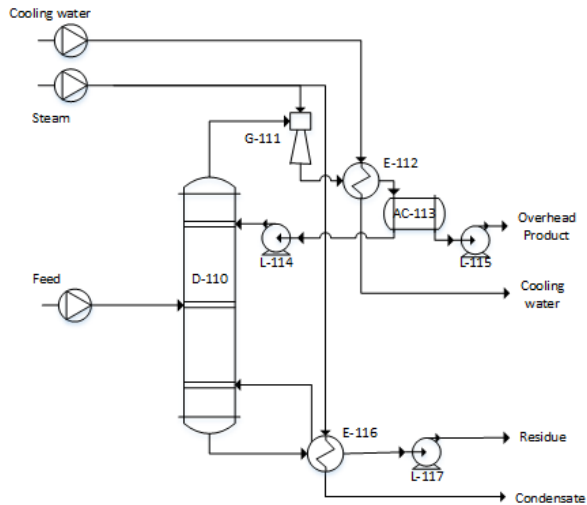
Dalam penelitian ini akan dibuat 2 macam model simulasi *steady state* pada *software* Aspen Plus. Model yang pertama adalah model kolom distilasi vakum yang dikombinasikan (*thin film evaporator*) sebagai *reboiler* dari kolom distilasi vakum tersebut yang dimodelkan dengan kombinasi antara *heat exchanger* dan *flash drum*. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi operasi optimum untuk proses pemisahan fraksi berat dari minyak pelumas bekas tersebut. Kemudian hasil dari simulasi model pertama ini akan divalidasi dengan perhitungan *thin film evaporator* secara manual. Model yang kedua adalah model kolom distilasi vakum menggunakan *reboiler* biasa. Hasil dari model yang ketiga ini akan dibandingkan dengan model yang kedua sehingga dapat dibuktikan mana yang lebih baik antara kolom distilasi vakum dengan menggunakan *thin film evaporator* sebagai *reboiler* dengan kolom distilasi vakum dengan *reboiler* biasa.



**Gambar IV.1** *Flow Diagram Model Kolom Distilasi Menggunakan Thin Film Evaporator Sebagai Reboiler*



**Gambar IV.2** *Flow Diagram Model Thin Film Evaporator yang dimodelkan oleh kombinasi heat Exchanger Dengan Flash Drum*



**Gambar IV.3** *Flow Diagram Model Kolom Distilasi Menggunakan Reboiler Biasa*

Dalam simulasi ini menggunakan model termodinamika Peng Robinson karena umpan yang digunakan dalam sistem pada penelitian ini merupakan minyak pelumas bekas dimana terdiri dari campuran hidrokarbon yang komponennya cukup beragam dan beberapa belum diketahui secara pasti.

Kemudian menentukan komposisi aliran masuk proses. Komposisi aliran masuk pada penelitian ini merupakan pendekatan dari hasil penelitian proses sebelum pemisahan fraksi berat yaitu proses pemisahan fraksi gas oil. Berikut merupakan komposisi aliran masuk sistem:

**Tabel IV.1** Komposisi Aliran Masuk Sistem

<b>Komponen</b>	<b>Flowrate (kg/h)</b>	<b>Fraksi Massa</b>
DiBenzoThiophene	0,4244	0,0025
Chrysene	17,0195	0,0989
PC245C	0,8904	0,0052
PC253C	1,6493	0,0096
PC267C	1,9234	0,0112
PC281C	2,4364	0,0142
PC296C	3,9556	0,0229
PC309C	3,9933	0,0232
PC322C	2,9155	0,0169
PC336C	2,6473	0,0154
PC350C	2,6643	0,0155
PC364C	2,9367	0,0171
PC378C	3,8589	0,0224
PC393C	6,7837	0,0394
PC407C	12,5396	0,0729
PC421C	26,3328	0,1531
PC440C	28,8222	0,1676
PC467C	14,0270	0,0815
PC495C	8,3136	0,0483
PC523C	6,4313	0,0374
PC552C	3,4570	0,0201
PC582C	17,9775	0,1045

Komposisi pada Tabel IV.1 di atas adalah pendekatan hasil dari produk bawah *gas oil stripper* yang merupakan proses pemisahan *gas oil*. Dimana data *assay* didapatkan dari hasil analisa minyak pelumas bekas. Kondisi aliran masuk tersebut adalah pada suhu 200°C, tekanan 10 kPa dan *flowrate* sebesar 172 kg/h. Komponen hidrokarbon dalam minyak pelumas bekas diwakili dengan komponen PC (senyawa hipotetikal yang dihasilkan dari input *data assay*. Kandungan sulfur diwakili DibenzoThiophene yang memiliki komposisi sebesar 0,25% di aliran masuk



sedangkan kandungan senyawa aromatis diwakilkan oleh chrysene yang memiliki komposisi sebesar 9,89%. Komposisi residu pada aliran masuk sebesar 10,45%. Kandungan *gas oil* berada pada PC245C hingga PC281C yang memiliki persentase sebesar 4,01% dari aliran. Sedangkan kandungan fraksi minyak pelumas ada pada PC296C hingga PC552C yang memiliki komposisi sebesar 75,4% dalam aliran masuk.

## **IV.2 Analisa Hasil**

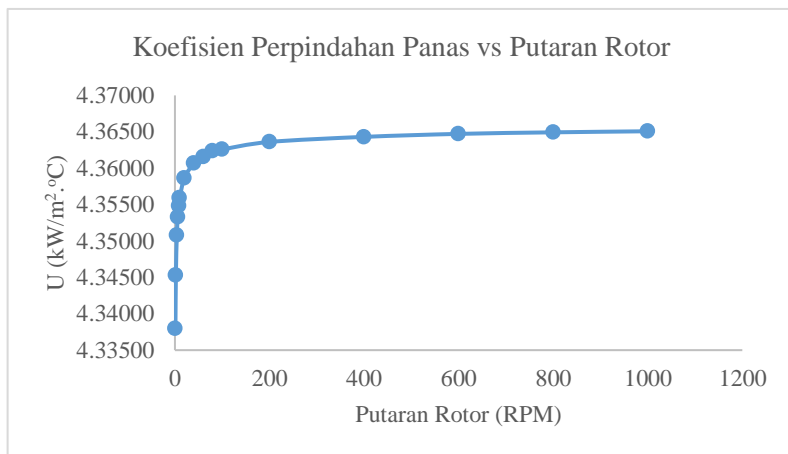
Dalam hal ini hasil yang didapatkan pertama adalah perbandingan antara kenaikan putaran rotor *thin film evaporator* dengan perubahan koefisien perpindahan panas. Perbandingan ini didapatkan dari persamaan-persamaan dari perhitungan manual *thin film evaporator*. Kemudian nilai koefisien perpindahan panas yang didapat akan dimasukkan menjadi variabel yang mewakili putaran rotor pada simulasi distilasi vakum menggunakan *thin film evaporator* yang dimodelkan dengan kombinasi antara *heat exchanger* dan *flash drum*. Dari simulasi ini akan didapatkan hubungan antara putaran rotor *thin film evaporator* dan variasi suhu operasi pada tekanan 1 kPa terhadap produk, yaitu berapa persentase minyak pelumas yang terbawa ke produk dari *feed* dan massa produk yang terbentuk. Berikutnya akan didapatkan hasil perbandingan performa antara penggunaan *thin film evaporator* dengan tanpa *thin film evaporator*. Yang terakhir adalah validasi data untuk penggunaan kombinasi *heat exchanger* dan *flash drum* dengan perhitungan manual *thin film evaporator*. Sehingga akan didapatkan *error* dari penggunaan fitur *heat exchanger* dengan *flash drum* untuk mewakili *thin film evaporator*.

### **IV.2.1 Perbandingan Putaran Rotor dengan Koefisien Perpindahan Panas**

Untuk memvariasikan kecepatan putaran rotor, yang bisa dispesifikasikan dalam simulasi pada *software* adalah koefisien perpindahan panas. Jadi perlu melakukan perhitungan secara manual terlebih dahulu

untuk menentukan berapa nilai dari koefisien perpindahan panas tersebut untuk setiap variabel kecepatan putaran rotor.

Hasil yang didapatkan ada pada grafik pada Gambar IV.4 sebagai berikut:



**Gambar IV.4** Perbandingan Antara Koefisien Perpindahan Panas Dengan Kecepatan Putaran Rotor

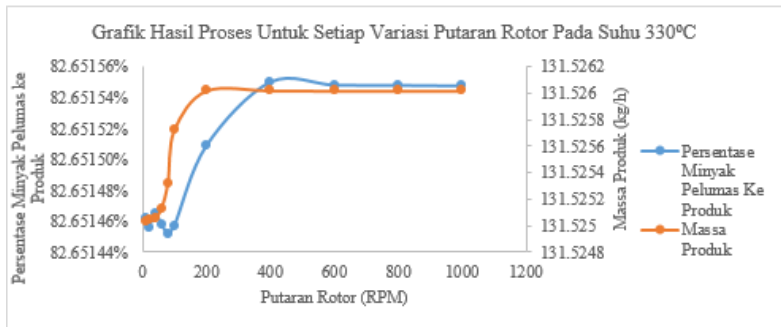
Dari grafik pada Gambar IV.4 tersebut dapat dilihat bahwa hubungan antara koefisien perpindahan panas dengan kecepatan putaran rotor secara umum berbanding lurus namun kenaikan mulai tidak signifikan pada kisaran putaran rotor 200 hingga 1000 RPM. Nilai koefisien perpindahan panas yang didapat dari perhitungan akan dimasukkan dalam spesifikasi permodelan *thin film evaporator* pada *software* Aspen Plus™ untuk setiap variabel kecepatan putaran rotor.

#### IV.2.2 Variabel Putaran Rotor

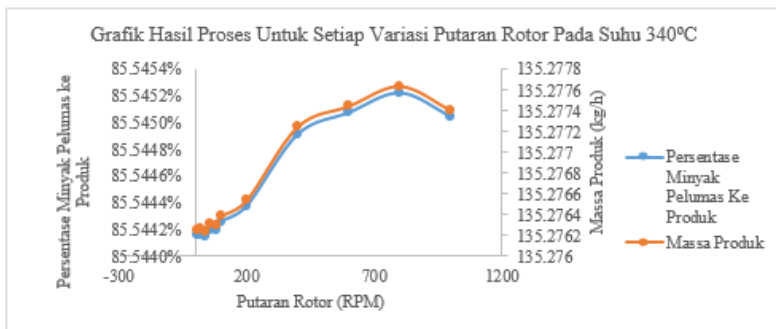
Variasi putaran rotor yang digunakan dalam *running* simulasi ini adalah pada 10 RPM, 20 RPM, 40 RPM, 60 RPM, 80 RPM, 100 RPM, 200 RPM, 400 RPM,

600 RPM, 800 RPM, dan 1000 RPM. Variasi putaran rotor ini akan disimulasikan terhadap tiap variabel suhu dari suhu 330°C hingga 360°C dengan parameter penilaiannya dari persentase fraksi minyak pelumas yang terbawa ke *top product* terhadap fraksi minyak pelumas dalam *feed* dan juga massa dari *top product* yang dihasilkan. Dalam hal ini dibutuhkan *input* nilai *reflux* dan tekanan operasi, sehingga ditetapkan nilai awal untuk *reflux* adalah 1,3 kali  $R_{\min}$  dan tekanan operasi pada kondisi vakum yaitu 1 kPa.

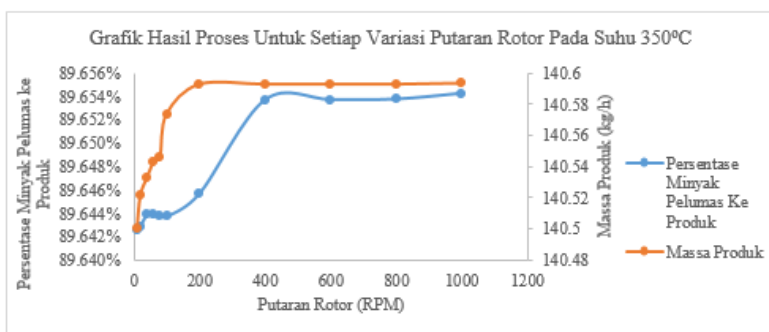
Hasil dari simulasi model kolom distilasi dengan *thin film evaporator* (kombinasi *heat exchanger* dengan *flash column*) untuk variabel putaran rotor adalah sebagai berikut:



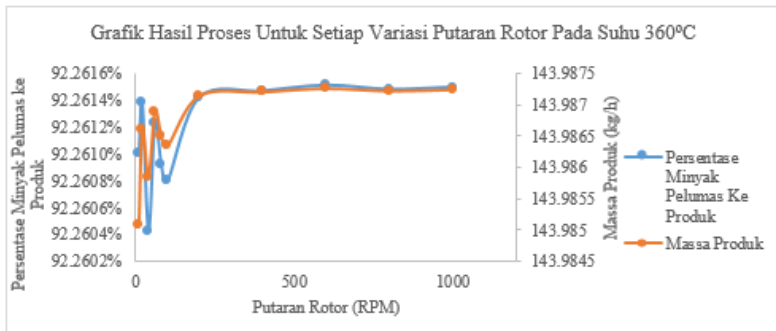
**Gambar IV.5** Grafik Variasi Putaran Rotor Pada Suhu Feed *Thin Film Evaporator* 330°C, Tekanan 1kPa dan  $R/R_{\min}$  1,3



**Gambar IV.6** Grafik Variasi Putaran Rotor Pada Suhu Feed *Thin Film Evaporator* 340°C, Tekanan 1 kPa dan  $R/R_{\min}$  1,3



**Gambar IV.7** Grafik Variasi Putaran Rotor Pada Suhu Feed *Thin Film Evaporator* 350°C, Tekanan 1 kPa dan  $R/R_{\min}$  1,3



**Gambar IV.8** Grafik Variasi Putaran Rotor Pada Suhu Feed *Thin Film Evaporator* 360°C, Tekanan 1 kPa dan  $R/R_{min}$  1,3

Untuk parameter persentase minyak pelumas menuju produk, dapat dilihat dari keempat grafik tersebut, meskipun ada bagian yang fluktuatif namun kecenderungannya hubungan antara persentase minyak pelumas ke produk dengan putaran rotor adalah berbanding lurus. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan putaran rotor dari *thin film evaporator* akan mengakibatkan hasil yang lebih baik dari segi persentase minyak pelumas yang menuju produk dan juga dari segi massa produk.

Untuk parameter persentase minyak pelumas yang ke produk, dapat dilihat untuk 10 RPM mendapat hasil yang paling rendah. Kemudian naik terus secara signifikan seiring naiknya variabel putaran rotor hingga pada variabel putaran rotor 400 RPM hingga 1000 RPM bisa dikatakan kenaikannya tidak signifikan atau mungkin tidak ada kenaikan.

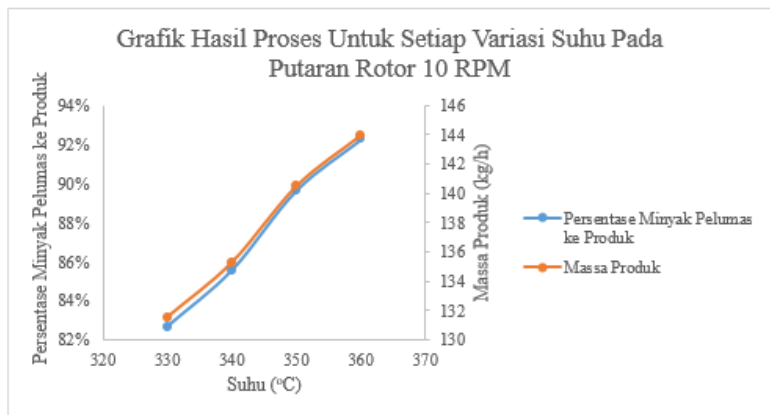
Hal ini dikarenakan semakin besar putaran rotor, sesuai dengan persamaan perpindahan panas untuk menghitung koefisien perpindahan panas, putaran rotor

berbanding lurus dengan nilai bilangan *Reynold* (Re). Bilangan Reynold memiliki hubungan dengan Bilangan *Nusselt* yaitu berbanding lurus. Kemudian bilangan *Nusselt* berbanding lurus dengan *process side* (hp) sedangkan *process side* (hp) juga berbanding lurus dengan koefisien perpindahan panas (U). Sehingga makin tinggi nilai dari kecepatan putaran rotor akan makin tinggi pula nilai dari koefisien perpindahan panas.

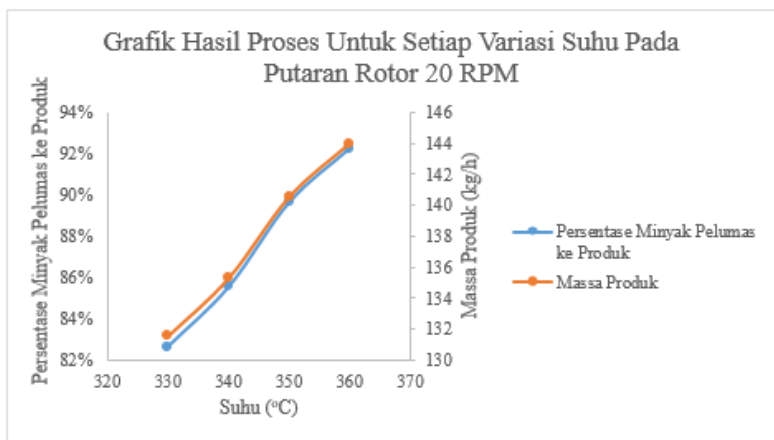
#### **IV.2.3 Variabel Suhu Operasi**

Variasi suhu yang digunakan dalam *running* simulasi ini adalah pada *range* 330°C hingga 360°C dengan interval 10°C. 4 variasi suhu ini akan disimulasikan terhadap tiap variabel putaran rotor dari 10 RPM hingga 1000 RPM dan pada tekanan 1 kPa dengan parameter penilaiannya dari persentase fraksi minyak pelumas yang terbawa ke *top product* terhadap fraksi minyak pelumas dalam *feed* dan juga massa dari *top product* yang dihasilkan. Dalam hal ini dibutuhkan *input* nilai *reflux*, sehingga ditetapkan nilai awal untuk *reflux* adalah 1,3 kali  $R_{min}$ .

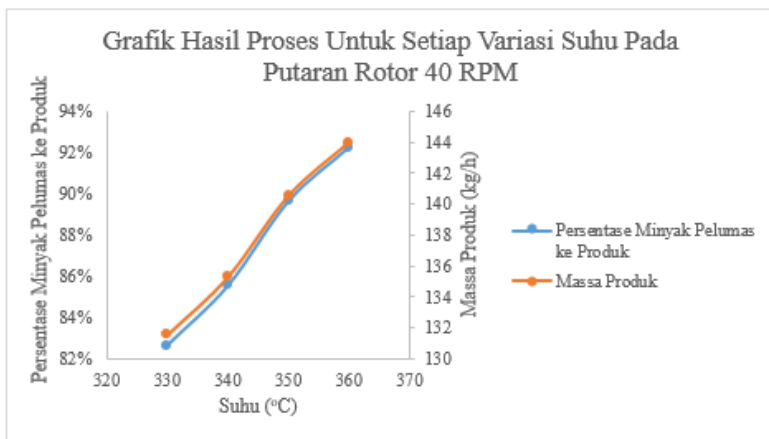
Hasil dari simulasi model kolom distilasi dengan *thin film evaporator* (kombinasi *heat exchanger* dengan *flash column*) untuk variabel suhu adalah sebagai berikut:



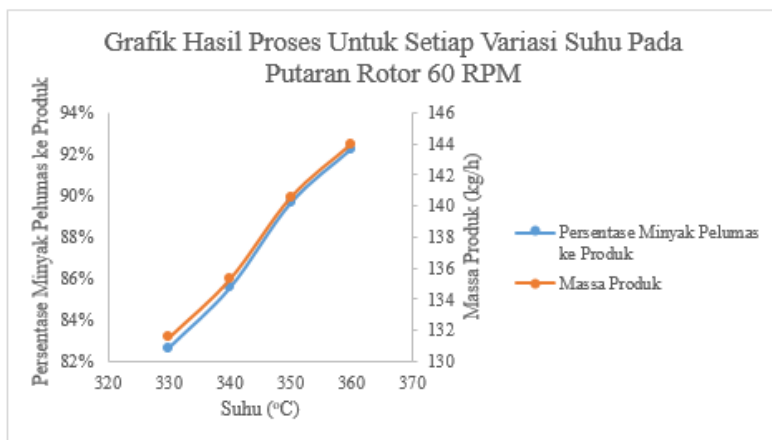
**Gambar IV.9** Grafik Variasi Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 10 RPM, Tekanan 1 kPa dan  $R/R_{min}$  1,3



**Gambar IV.10** Grafik Variasi Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 20 RPM, Tekanan 1 kPa dan  $R/R_{min}$  1,3

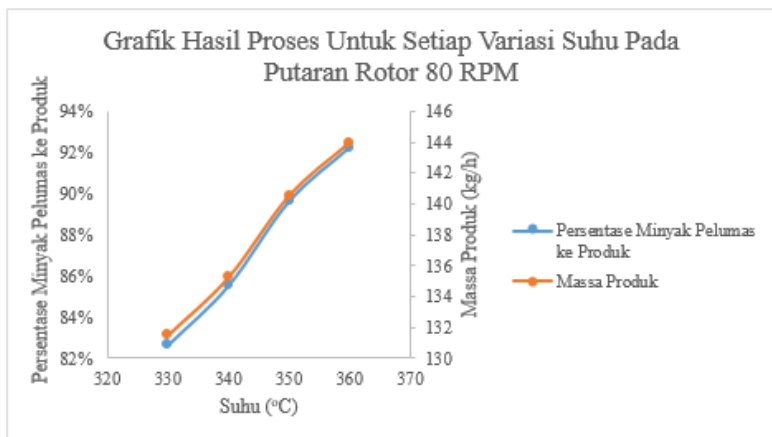


**Gambar IV.11** Grafik Variasi Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 40 RPM, Tekanan 1 kPa dan  $R/R_{min}$  1,3

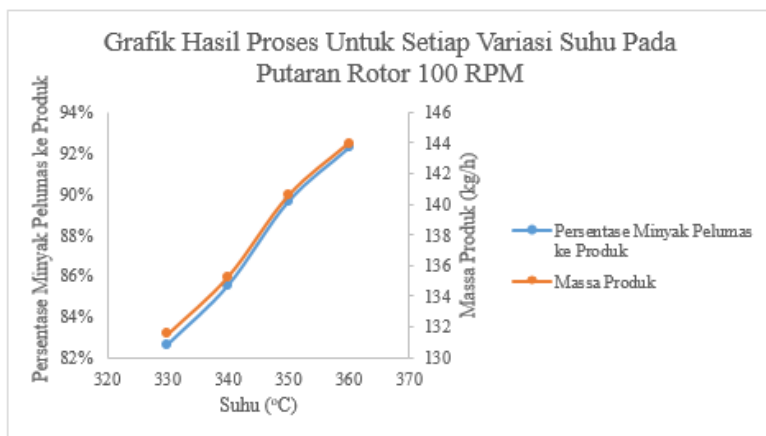


**Gambar IV.12** Grafik Variasi Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 60 RPM, Tekanan 1 kPa dan  $R/R_{min}$  1,3

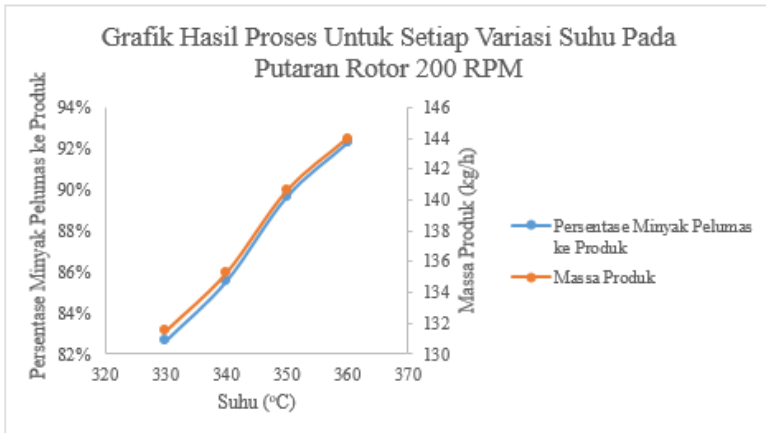




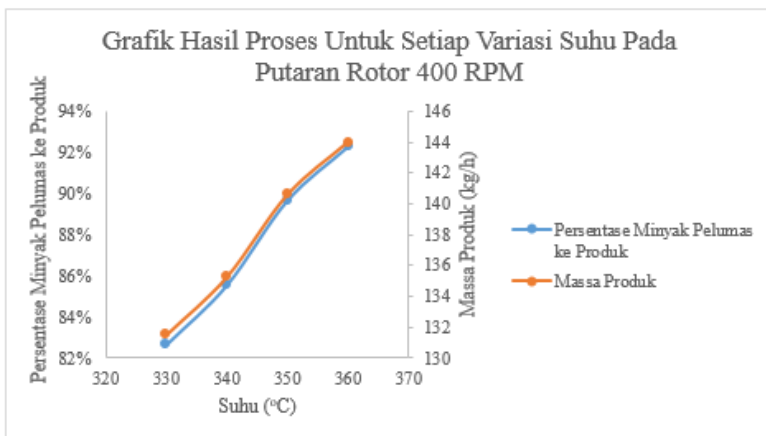
**Gambar IV.13** Grafik Variasi Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 80 RPM, Tekanan 1 kPa dan  $R/R_{min}$  1,3



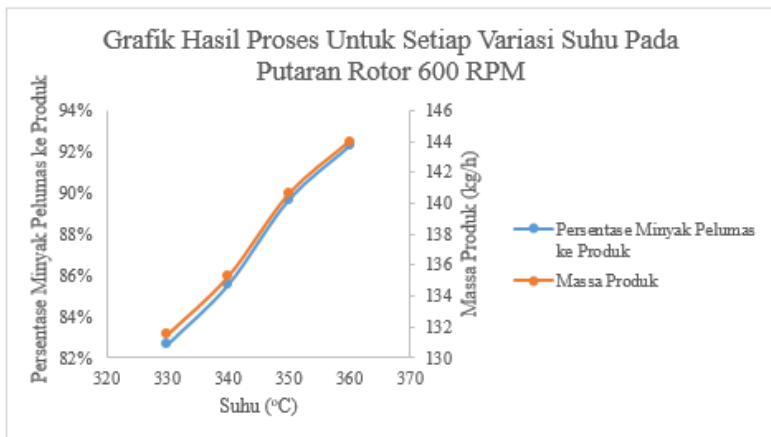
**Gambar IV.14** Grafik Variasi Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 100 RPM, Tekanan 1 kPa dan  $R/R_{min}$  1,3



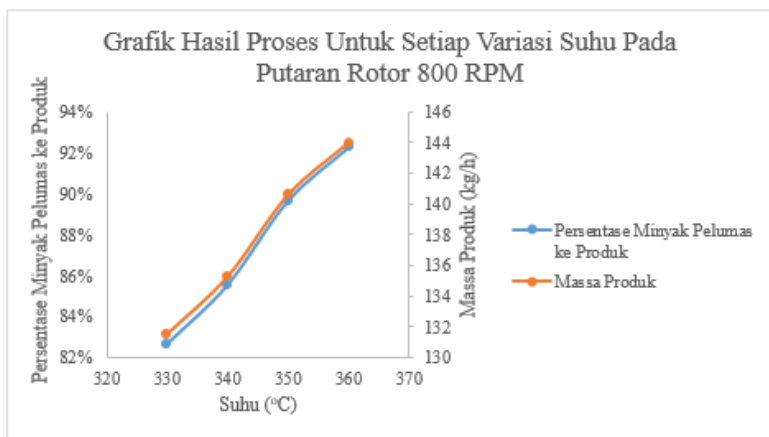
**Gambar IV.15** Grafik Variasi Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 200 RPM, Tekanan 1 kPa dan  $R/R_{min}$  1,3



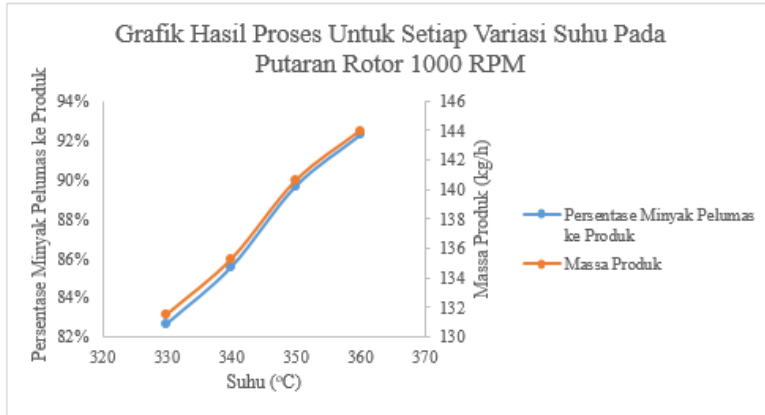
**Gambar IV.16** Grafik Variasi Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 400 RPM, Tekanan 1 kPa dan  $R/R_{min}$  1,3



**Gambar IV.17** Grafik Variasi Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 600 RPM, Tekanan 1 kPa dan  $R/R_{min}$  1,3



**Gambar IV.18** Grafik Variasi Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 800 RPM, Tekanan 1 kPa dan  $R/R_{min}$  1,3



**Gambar IV.19** Grafik Variasi Suhu Operasi *Thin Film Evaporator* Pada Putaran Rotor 1000 RPM, Tekanan 1 kPa dan  $R/R_{min}$  1,3

Dari kesebelas grafik mengenai pengaruh suhu terhadap hasil produk dari proses ini, semuanya memiliki hasil yang sama yaitu semakin tinggi suhu operasi maka akan semakin tinggi pula persentase fraksi minyak pelumas yang ke produk atas serta semakin tinggi pula massa produk yang didapatkan. Hal ini dikarenakan proses pemisahan menggunakan distilasi vakum ini menggunakan prinsip titik didih dari komponen yang akan dipisahkan. Jadi sudah ditetapkan suhu operasi yang sesuai sehingga titik didih zat yang akan dipisahkan sesuai dengan suhu dan tekanan operasi jadi akan didapat hasil yang sesuai. Namun, akan masih ada zat yang tidak terpisah. Karena itu makin tinggi suhu operasi yang digunakan makin mudah juga untuk menguapkan zat yang akan dipisahkan.

Dari seluruh variabel putaran rotor, rata-rata hasil persentase minyak pelumas yang ke produk untuk

variabel suhu 330°C ada pada kisaran 82,6%, pada variabel suhu 340°C terdapat pada kisaran 85,5%, sedangkan pada suhu 350°C memiliki hasil pada kisaran 89,65% dan pada variasi suhu tertinggi yaitu pada 360°C ada pada persentase 92,26%. Sedangkan untuk parameter hasil massa produk, untuk variabel suhu 330°C ada pada kisaran 131,52 kg/h, pada variabel suhu 340°C terdapat pada kisaran 135,27 kg/h, sedangkan pada suhu 350°C memiliki hasil pada kisaran 140,5 kg/h dan pada variasi suhu tertinggi yaitu pada 360°C ada pada kisaran 143,98 kg/h.

Jadi untuk variabel suhu operasi, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kondisi optimum operasi pemisahan ini untuk variabel suhu operasi adalah pada suhu 360°C.

#### **IV.2.4 Validasi Menggunakan Perhitungan Manual**

Karena tidak adanya fitur *thin film evaporator* pada Aspen Plus<sup>TM</sup>, maka alat tersebut dimodelkan dengan kombinasi antara *heat exchanger* dan *flash drum*. Karena itu pastinya akan ada *error* dalam hasil simulasi. Jadi perlu adanya validasi hasil simulasi menggunakan perhitungan manual. Hasil dari validasi adalah sebagai berikut:

**Tabel IV.2** Perbandingan hasil simulasi *thin film evaporator* menggunakan AspenPlus dan perhitungan Matlab

RPM	Massa Top Produk (kg/jam)		%Error
	Matlab	AspenPlus	
60	429.3571	428.11238	0.290%
80	429.5172	428.11246	0.327%
100	429.6285	428.11127	0.353%
200	429.9136	428.11261	0.419%
400	430.1255	428.11126	0.468%

Berdasarkan hasil data perhitungan dengan menggunakan Matlab dan hasil Simulasi menggunakan Aspen Plus<sup>TM</sup>, didapatkan perbedaan hasil Massa Head Produk yang terbentuk. Tetapi karena error tidak melebihi 1% sehingga permodelan pada Aspen Plus<sup>TM</sup> dapat mewakili proses pada *Thin Film Evaporator*. %error yang didapat pada kondisi optimum, suhu 360°C dan putaran rotor 400 RPM, adalah sebesar 0,468%.

#### **IV.2.5 Kondisi Produk Pada Kondisi Optimum**

Kondisi optimum pada operasi ini adalah pada kondisi suhu operasi sebesar 360°C dengan putaran rotor optimum yaitu pada 400 RPM. Dalam kondisi operasi tersebut, produk yang didapat memiliki komposisi sebagai berikut

**Tabel IV.3** Komposisi produk pada kondisi optimum

<b>Komponen</b>	<b>Massa (kg/h)</b>
DIBEN-01	0,4244
CHRYSENE	17,0195
PC245C	0,8904
PC253C	1,6493
PC267C	1,9234
PC281C	2,4364
PC296C	3,9556
PC309C	3,9933
PC322C	2,9155
PC336C	2,6473
PC350C	2,6643
PC364C	2,9367
PC378C	3,8590
PC393C	6,7837
PC407C	12,5396
PC421C	26,3328
PC440C	28,8222
PC467C	14,0270
PC495C	8,1665
PC523C	0,0001
PC552C	0,0001
PC582C	0,0000
<b>Total</b>	<b>143,9872</b>

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Hubungan antara kecepatan putaran rotor dengan koefisien perpindahan panas adalah berbanding lurus, namun tidak ada peningkatan yang signifikan saat mencapai 400 RPM hingga 1000 RPM.
2. Telah didapatkan pendekatan simulasi model *steady state* kolom distilasi vakum disertai dengan *thin film evaporator* yang dimodelkan dengan kombinasi antara *heat exchanger* dengan *flash column* untuk proses pemisahan fraksi berat dalam minyak pelumas bekas menggunakan *software Aspen Plus™*.
3. Validasi simulasi model *thin film evaporator* menggunakan perhitungan Matlab™ dengan hasil *error* pada kisaran 0,468%
4. Kondisi operasi optimum untuk proses ini didapatkan pada kondisi sebagai berikut:
  - Kecepatan Putaran Rotor = 400 RPM
  - Suhu operasi = 360°CDengan hasil sebagai berikut:
  - Persentase fraksi oli ke produk = 92,2615%
  - Massa Produk = 143,9872 kg/h

#### **V.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat saran sebagai berikut:

1. Mempelajari mengenai *thin film evaporator* terutama mengenai efek jumlah *blade* terhadap perpindahan panas



## DAFTAR PUSTAKA

- Billet, R. 1983. *Distillation in Thin Film Evaporator, Film Techniques Applied to Chem. Eng Operations*. France
- BPS, Administrator. 2015. *Data Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia*. [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id)
- Chawankul, N. 2001. *Simulation of an Agitated Thin Film Evaporator for Concentrating Orange Juice Using Aspen Plus<sup>TM</sup>*. Journal of Food Engineering
- Chen and Mathias. 2002. *Applied Thermodynamics for Process Modeling*. AICHE Journal
- Chuaprasert, S. 1999. *Data Reconciliation of an Agitated Thin Film Evaporator Using Aspen Plus*. Journal of Food Engineering
- Dziak, J. 2011. *Mass and Heat Transfer During Thin Film Evaporator of Liquid Solution*. ISBN: InTech
- Glover, W. B. 2004. *Selecting Evaporators for Process Applications*. North Carolina: LCI Corp
- Komariah, L. N. 2009. *Tinjauan Teoritis Perancangan Kolom Distilasi untuk Pra-Rencana Pabrik Skala Industri*. Palembang: Universitas Sriwijaya
- Mannheim C. H. 1974. *Proc.Int.Symp. Advances in Preconcentration and Dehydration of Foods*. UK: Applied Science Publishers Ltd.
- McKenna, T. F. 1994. *Design Model of a Wiped Film Evaporator, Application to The Devolatilisation of Polymer Melts*. Chemical Engineering Science
- Siswanti. 2010. *Pengaruh Penambahan Aditif Proses Daur Ulang Minyak Pelumas Bekas Terhadap Sifat-Sifat Fisis*. Jurnal Ilmiah Jurusan Teknik Kimia EKSERGI
- Subarjo. 1985. *Macam-Macam Aditif Minyak Pelumas Lembaran*. Publikasi Lemigas
- Subiyanto. 1989. *Jenis-Jenis Logam yang Terdapat Dalam Minyak Lumas Bekas dan Sumber Asalnya*. Lembaran Publikasi Lemigas

- Speight, James G. 2014. *Refining Used Lubricating Oils*. Boca Raton: CRC Press
- STP, Administrator. *Used Lube Oil Re-refining*. Presentation of STP. Rome, Italy: Studi Tecnologie Progetti Srl.
- Tham, M. T. 2006. *Distillation Column Design*. UK: R. C. Costello and Associates, Inc
- Toledo, J. L. 2006. *Heat and Mass Transfer Characteristic of a Wiped Film Evaporator*. Austin: The University of Texas
- Treybal, Robert E. 1981. *Mass Transfer Operations Third Edition*. Singapore: McGraw-Hil Companies, Inc
- VTE, Administrator. *Thin Film Evaporator*. <http://www.vta-process.de>
- Zeboudj, S. 2006. *Modelling of Flowing a Wiped Film Evaporator*. Chemical Engineering Science

## DAFTAR NOTASI

$A$	Overall Heat Transfer Area ( $m^2$ )
$C_p$	Specific Heat Capacity ( $kJ/kg\ ^\circ C$ )
$D$	Diameter Ekivalen (m)
$D_s$	Diameter Shell (m)
$D_r$	Diameter Rotor (m)
$F_f$	Feed Thin Film Evaporator (kg/jam)
$h_p$	Koeffisien Perpindahan Panas Likuida ( $kw/m^2\ ^\circ C$ )
$h_s$	Koeffisien Perpindahan Panas Steam ( $kw/m^2\ ^\circ C$ )
$k$	Konduktifitas Thermal ( $kw/m^2\ ^\circ C$ )
$N$	Perputaran Rotor (rpm)
$N_u$	Bilangan Nusselt
$Pr$	Bilangan Prandtl
$Re$	Bilangan Reynold
$T_f$	Suhu Feed Thin Film Evaporator ( $^\circ C$ )
$T_p$	Suhu Produk Thin Film Evaporator ( $^\circ C$ )
$U$	Overall Heat Transfer Coefficient ( $kw/m^2\ ^\circ C$ )
$V$	Vapor Flowrate (kg/h)
$\sigma_w$	Tebal Dinding (m)
$\lambda$	Latent Heat of Vaporization (kJ/kg)
$\rho$	Densitas Feed ( $kg/m^3$ )
$\eta$	Viskositas (cP)

## APPENDIKS A

**Tabel A.1** Hasil Simulasi Proses Pada Suhu 330°C Untuk Setiap Kecepatan Putaran Rotor

N (RPM)	U (kW/m <sup>2</sup> .°C)	T (°C)	Persentase Minyak Pelumas ke Produk	Massa Produk (kg/h)	Persentase Residu	Kebutuhan Steam (kg/h)
10	4,35590	330	82,65146206%	131,5250365	100%	270,04
20	4,35864		82,65145608%	131,5250417	100%	270,04
40	4,36076		82,65146505%	131,5250533	100%	270,04
60	4,36161		82,65145787%	131,525131	100%	270,04
80	4,36240		82,65145213%	131,5253224	100%	270,04
100	4,36258		82,65145706%	131,5257222	100%	270,04
200	4,36360		82,65150894%	131,5260194	100%	270,04
400	4,36430		82,65155017%	131,526021	100%	270,04
600	4,36471		82,65154820%	131,5260185	100%	270,04
800	4,36492		82,65154805%	131,5260183	100%	270,04
1000	4,36507		82,65154773%	131,5260179	100%	270,04

**Tabel A.2** Hasil Simulasi Proses Pada Suhu 340°C Untuk Setiap Kecepatan Putaran Rotor

N (RPM)	U (kW/m <sup>2</sup> .°C)	T (°C)	Persentase Minyak Pelumas ke Produk	Massa Produk (kg/h)	Persentase Residu	Kebutuhan Steam (kg/h)
10	4,35590	340	85,54415687%	135,2762569	100%	297,79
20	4,35864		85,54416069%	135,2762619	100%	297,79
40	4,36076		85,54414686%	135,2762439	100%	297,79
60	4,36161		85,54420027%	135,2763132	100%	297,79
80	4,36240		85,54419108%	135,2763013	100%	297,79
100	4,36258		85,54425897%	135,2763893	100%	297,79
200	4,36360		85,54437687%	135,2765422	100%	297,79
400	4,36430		85,54491413%	135,2772501	100%	297,79
600	4,36471		85,54507588%	135,2774487	100%	297,79
800	4,36492		85,54522274%	135,2776391	100%	297,79
1000	4,36507		85,54504339%	135,2774065	100%	297,79

**Tabel A.3** Hasil Simulasi Proses Pada Suhu 350°C Untuk Setiap

(+)Kecepatan Putaran Rotor

N (RPM)	U (kW/m <sup>2</sup> .°C)	T (°C)	Persentase Minyak Pelumas ke Produk	Massa Produk (kg/h)	Persentase Residu	Kebutuhan Steam (kg/h)
10	4,35590	350	89,64252877%	140,500066	100%	334,23
20	4,35864		89,64284598%	140,5213998	100%	334,23
40	4,36076		89,64389427%	140,5327592	100%	334,23
60	4,36161		89,64383850%	140,5426869	100%	334,23
80	4,36240		89,64378258%	140,546144	100%	334,23
100	4,36258		89,64372962%	140,5735457	100%	334,23
200	4,36360		89,64569154%	140,5924963	100%	334,23
400	4,36430		89,65366629%	140,5924636	100%	334,23
600	4,36471		89,65368060%	140,5924822	100%	334,23
800	4,36492		89,65372763%	140,5925431	100%	334,23
1000	4,36507		89,65422404%	140,5931869	100%	334,23

**Tabel A.4** Hasil Simulasi Proses Pada Suhu 360°C Untuk Setiap

Kecepatan Putaran Rotor

N (RPM)	U (kW/m <sup>2</sup> .°C)	T (°C)	Persentase Minyak Pelumas ke Produk	Massa Produk (kg/h)	Persentase Residu	Kebutuhan Steam (kg/h)
10	4,35590	360	92,26101061%	143,9850965	100%	364,45
20	4,35864		92,26138420%	143,986612	100%	364,45
40	4,36076		92,26042574%	143,9858536	100%	364,45
60	4,36161		92,26123145%	143,9868984	100%	364,45
80	4,36240		92,26092259%	143,9864979	100%	364,45
100	4,36258		92,26080279%	143,9863425	100%	364,45
200	4,36360		92,26142028%	143,9871433	100%	364,45
400	4,36430		92,26146701%	143,9872039	100%	364,45
600	4,36471		92,26150981%	143,9872594	100%	364,45
800	4,36492		92,26147930%	143,9872198	100%	364,45
1000	4,36507		92,26149628%	143,9872418	100%	364,45

**Tabel A.5** Hubungan Putaran Rotor Dengan Koefisien  
Perpindahan Panas

<b>Putaran Rotor (RPM)</b>	<b>Koefisien Perpindahan Panas U (kW/m<sup>2</sup>°C)</b>
1	4,33801
2	4,34533
4	4,35078
6	4,35329
8	4,35483
10	4,35590
20	4,35864
40	4,36067
60	4,36161
80	4,36240
100	4,36258
200	4,36360
400	4,36430
600	4,36471
800	4,36492
1000	4,36507

## APPENDIKS B

```
clc;
clear;
format long;

%Perhitungan Overall Heat Coefficient
Ds=2.038*0.3048; %m
Dr=1.8338*0.3048; %m
miu=0.982193; %cp
F=456; %kg/jam
Cp=2.89; %kg/jam
k=0.09; %w/m C
kw=0.106213336196986; %w/m C
hs=8.52; %kw/m2 C
A=0.233109; %m2
phi=3.14;
tw=0.01185418; %m
rho=818; %Kg/m3
Nb=4; %Jumlah Blade
L=483; %KJ/Kg
dTlm=60; %C

n=input('Masukkan Jumlah Variabel Rotasi = ');

for i=1:n
    N(i)=input('Masukkan Nilai RPM = ');
end

De=((Ds^2)-(Dr^2))/Ds;
Ref=4*F/(phi*De*miu);
Pr=Cp*miu/k;

for i=1:n
```

```

    ReN(i)=(De)^2*N(i)*rho/miu;
end

for i=1:n
    Nu(i)=0.65*(Ref)^0.25*(ReN(i))^0.43*(Pr)^0.3*(Nb)^0.33;
end

for i=1:n
    hp(i)=Nu(i)*k/De/1000;
end

for i=1:n
    perU(i)=1/hs+1/hp(i)+tw/kw;
end

for i=1:n
    U(i)=1/perU(i);
end

for i=1:n
    V(i)=(((U(i)*A*dTlm)-(F/3600*2.89*(360-351)))/L)*3600;
end

for i=1:n
    disp(['Massa Head Produk pada putaran ',num2str(N(i)),
    rpm = ',num2str(V(i)), ' kg/jam']);
end

```



## RIWAYAT PENULIS



**Andi Muhammad Danial** lahir di Gresik, Jawa Timur pada tanggal 22 Mei 1995. Menempuh pendidikan formal di SD Negeri Sidokumpul 2 Gresik pada tahun 2001-2007, kemudian melanjutkan pendidikan tingkat menengah di SMP Negeri 1 Gresik tahun 2007-2010 dan melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Gresik tahun 2010-2013. Setelah lulus dari SMA, penulis melanjutkan ke tingkat sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas

Teknologi Industri, Departemen Teknik Kimia pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 2313100145. Penulis mengambil tugas akhir di bidang perancangan dan pengendalian proses dengan judul tugas akhir **"Perancangan Proses Pemisahan Fraksi Berat Dalam Minyak Pelumas Bekas dengan *Vacuum Distillation* dan *Thin Film Evaporator*"** di bawah bimbingan Prof. Ir. Renanto, M.S., Ph.D. dan Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D. Selama masa kuliah, penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia FTI-ITS dan pernah menjadi ketua bidang pengembangan kompetensi pada periode kepengurusan 2015/2016. Penulis pernah mendapatkan kesempatan untuk melaksanakan kerja praktek di PT Pupuk Sriwidjaja Palembang pada tahun 2016.



**Nandyojati Kusuma** lahir di Surabaya, Jawa Timur pada tanggal 18 Desember 1994. Menempuh pendidikan formal di SD Al-Hikmah Surabaya pada tahun 2001-2007, kemudian melanjutkan pendidikan tingkat menengah di SMP Negeri 1 Surabaya tahun 2007-2010 dan melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 5 Surabaya tahun 2010-2013. Setelah lulus dari SMA, penulis melanjutkan ke tingkat sarjana di Institut

Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknologi Industri, Departemen Teknik Kimia pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 2313100143. Penulis mengambil tugas akhir di bidang perancangan dan pengendalian proses dengan judul tugas akhir **"Perancangan Proses Pemisahan Fraksi Berat Dalam Minyak Pelumas Bekas dengan *Vacuum Distillation* dan *Thin Film Evaporator*"** di bawah bimbingan Prof. Ir. Renanto, M.S., Ph.D. dan Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D. Selama masa kuliah, penulis aktif dalam Badan Eksekutif Mahasiswa ITS dan Legislatif Mahasiswa Jurusan serta pernah menjadi ketua Legislatif Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia ITS pada periode kepengurusan 2015/2016. Penulis pernah mendapatkan kesempatan untuk melaksanakan kerja praktek di PT Pupuk Kalimantan Timur, Bontang, pada tahun 2016.